

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-,
MUND- UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Heike Korbmacher-Steiner
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**Microleakage-Untersuchung
von Wurzelkanalfüllungen nach
unterschiedlichen Abschluss-Spülungen:
drei klassische Wurzelkanalsealer
im Vergleich**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des
Doktorgrades der Zahnmedizin
aus dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Christian Hansen
aus Düsseldorf

Marburg, 2018

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am 17.10.2018

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Priv.-Doz. Dr. M. J. Roggendorf

Korreferent: Prof. Dr. U. Lotzmann

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
1.1 Hintergrund und Ziele	1
1.2 Material und Methode	1
1.3 Ergebnisse	2
1.4 Schlussfolgerungen	2
2 Summary	3
2.1 Objectives	3
2.2 Materials and Methods	3
2.3 Results	4
2.4 Conclusion	4
3 Einleitung	5
4 Literaturübersicht	6
4.1 Wurzelkanalbehandlung	6
4.2 Wurzelkanalaufbereitung	6
4.2.1 Manuelle Aufbereitung	6
4.2.2 Maschinelle Aufbereitung	7
4.3 Schmierschicht (Smear layer)	7
4.4 Wurzelkanalspülung	8
4.4.1 Spüllösungen zur Desinfektion	9
4.4.1.1 Natriumhypochlorit	9
4.4.1.2 Chlorhexidindigluconat (CHX)	10
4.4.2 Spüllösungen zum Entfernen der Schmierschicht	11
4.4.2.1 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	11
4.4.2.2 Zitronensäure	11
4.4.3 Spüllösung zur Unterstützung der Trocknung	11
4.4.3.1 Alkohol	11
4.5 Wurzelkanalfüllung	12
4.5.1 Guttapercha	12
4.5.2 Sealer	13
4.5.2.1 Schichtstärke	14
4.5.2.2 Löslichkeit	14
4.5.2.3 Haftverbund	15
4.6 Wurzelkanalfülltechniken	16
5 Zielsetzung und Arbeitshypothesen	19

6	Material und Methode	20
6.1	Übersicht des Versuchsdesigns	20
6.2	Aufbereitung und Spülung der Wurzelkanäle	21
6.3	Wurzelkanalfüllung	22
6.4	Vorbereitung der Proben	26
6.5	Bewertung	28
6.6	Statistische Auswertung	30
6.7	Shapiro-Wilk-Test	30
6.8	Univariate Varianzanalyse (ANOVA) und Post-Hoc-Tests	30
6.9	Kruskal-Wallis-Test	30
6.10	Mann-Whitney-Test	31
7	Ergebnisse	32
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	32
7.2	Lineare Penetrationstiefe – Vergleich der Sealer	35
7.2.1	<i>AH Plus</i>	36
7.2.2	<i>Apexit</i>	36
7.2.3	<i>Tubli-Seal</i>	36
7.2.4	EDTA	37
7.2.5	CHX	37
7.2.6	Natriumascorbat	37
7.2.7	Wasser	38
7.2.8	Trocken	38
8	Diskussion	39
8.1	Diskussion der Methodik	39
8.1.1	Standardisierung	39
8.1.2	Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	40
8.1.3	Chemische Wurzelkanalaufbereitung	40
8.1.4	Wurzelkanaltrocknung	41
8.1.5	Wurzelkanalfüllung	41
8.1.6	Farbstoffpenetrationstest	42
8.1.7	Auswertung	43
8.2	Diskussion der Ergebnisse	43
8.3	Prüfung der Arbeitshypothesen	45
8.4	Klinischer Ausblick	46
	Literaturverzeichnis	47

9	Anhang.....	57
9.1	Materialliste	57
9.2	Abkürzungsverzeichnis	59
9.3	Übersicht der Tabellen	60
9.4	Übersicht der Abbildungen	60
10	Verzeichnis der akademischen Lehrer	61
11	Lebenslauf.....	62
12	Danksagung	64
13	Ehrenwörtliche Erklärung	65

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Die chemische Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems findet durch Spüllösungen statt. Eine vollständige Trocknung der Wurzelkanäle und ihrer zahlreichen Verästelungen ist technisch nicht zu garantieren, so dass Reste der Spüllösungen im Kanalsystem verbleiben. Die Vielzahl der auf den Markt kommenden neuen Wurzelkanalsealer in Kombination mit den heute üblichen Spüllösungen lässt die Frage aufkommen, in wie weit die Restfeuchtigkeit aus dem verzweigten Wurzelkanalsystem das Abbindeverhalten der Sealer beeinflusst und damit die Dichtigkeit der Wurzelfüllung verändert.

Ziel der Studie war es somit herauszufinden, welche Sealer-Spüllösungs-Kombination den positivsten Effekt auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung hat.

1.2 Material und Methode

150 humane, extrahierte Zähne mit geradem Kanalverlauf entsprechend der *Schneider*-Klasse I [99] wurden in drei experimentelle Gruppen und in fünf Untergruppen mit jeweils 10 Zähnen aufgeteilt. Eine Untergruppe diente dabei als Kontrollgruppe. Nach der Trepanation wurden die Proben maschinell bis .04/#45 aufbereitet. Als Wechselspülung wurden Natriumhypochlorit (5%) und Zitronensäure (40%) verwendet. Nach Rekontamination des Wurzelkanals mit der die Untergruppe definierenden Spülflüssigkeiten, EDTA (15%), Natriumascorbat (10%), CHX (2%) oder Wasser und schematischer Überschuss-Entfernung, wurden die jeweiligen Sealer nach Herstellerempfehlung an gemischt, mit einem Lentulo in die Wurzelkanäle eingebracht und der Wurzelkanal mit Hilfe der Zentralstifttechnik abgefüllt. Eine der vier Gruppen diente als Kontrollgruppe und wurde, anstelle rekontaminiert zu werden, vollständig getrocknet. Die Sealer härteten danach sieben Tage in einer feuchten Kammer bei 37°C aus. Nachdem die Zähne mit zwei Schichten Nagellacks versiegelt und die Wurzelspitzen bis zum Erscheinen des Guttapercha-Stiftes abgetrennt wurden, folgte im Anschluss ein Farbstoffpenetrationstest in 5%iger Methylenblau-Lösung. Die getesteten Zähne

wurden dann mit ihrer apikalen Spitze auf einer Glasplatte mit Bond befestigt und anschließend mit Epoxidharz eingebettet. Mit Hilfe einer Innenlochsäge konnten die Proben in 1 mm starke Sägeschnitte aufgegliedert werden. Die Beurteilung der Farbstoffpenetration erfolgte unter einem Auflichtmikroskop bei 30facher Vergrößerung.

1.3 Ergebnisse

Die Studie zeigt, dass die verschiedenen Spüllösungen die Eigenschaften der hier verwendeten Sealer unterschiedlich beeinflussten. Die höchsten Undichtigkeiten traten bei dem auf Zinkoxid-Eugenol basierenden Sealer *Tubli-Seal* auf. Vor allem bei den Abschlusspülungen mit Ascorbat und CHX traten sehr hohe Werte für die linearen Penetrationstiefe auf. Zwischen *AH Plus* und *Apexit* konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden, wobei allerdings die Dichtigkeit abhängig von der Kontaminationsflüssigkeit war. Der Sealer *Apexit* wies von allen Spüllösungen die geringsten Undichtigkeiten auf. Die größten Undichtigkeiten traten bei CHX auf. Alle drei Sealer hatten in diesem Zusammenhang äußerst schlechte Ergebnisse, nur *Tubli-Seal* wies in Kombination mit Ascorbat noch schlechtere Ergebnisse auf und somit die schlechtesten aller untersuchten Kombinationen. EDTA hatte den geringsten Einfluss auf die Dichtigkeit aller Sealer.

1.4 Schlussfolgerungen

Eine weitgehende Trocknung des Kanalsystems ist nach wie vor äußerst wichtig, da sowohl die klassischen wie auch neuere Sealer sehr empfindlich auf Feuchtigkeit reagieren können. Aber nicht grundsätzlich hat die Kontamination mit einer Flüssigkeit einen negativen Effekt auf das Abdichtungsverhalten, sondern die Art der Flüssigkeit. Insbesondere ist also im Zusammenhang mit unterschiedlichen Spüllösungen darauf zu achten, welcher Sealer benutzt wird und in wieweit die als Abschlusspülung eingesetzte Spüllösung diesen in seinem Abdichtungsverhalten beeinflusst. Nicht jeder Sealer erbringt mit den verschiedenen Spüllösungen identische Abdichtungseigenschaften.

2 Summary

2.1 Objectives

The chemical cleaning and disinfection of the root canal system is performed by endodontic irrigations. A complete drying of the root canals and its numerous ramifications technically not achievable so that residues of the rinsing solutions remain within the endodontic system. The large number of upcoming new root canal sealers in combination with the currently used irrigation solutions raises the question to what extent the residual moisture from the branched root canal system influences the setting properties of the sealers, thus affecting the seal of the root filling.

The aim of the study was to find out which sealer and irrigation combination revealed the most positive effect on the apical seal of the root filling.

2.2 Materials and Methods

150 human extracted teeth with straight canals according to *Schneider* class I were divided in three experimental groups and subdivided into five groups of 10 teeth and one control group. After preparation of access cavities, the samples were instrumented by *ProFile* .04/#45. Sodium hypochlorite (5%) and citric acid (40%) were used as irrigants. After recontamination of the root canal with the subgroup defining lavages, EDTA (15%), sodium ascorbate (10%), CHX (2%) or water and schematic excess distance, the respective sealer was mixed according to manufacturer's recommendation and placed with a lentulo spiral into the root canals and the obturation performed by a single cone technique. One group was used as control and canals were completely dried. The sealer was allowed to set for 7 days in a wet chamber (37°C/100% humidity). After the teeth were sealed with two layers of nail polish the root tips were removed until the gutta-percha filling appeared apically. Then, a dye penetration test was performed using 5% methylene blue solution. Serial cutting of the specimen allowed the assessment of dye penetration under a light microscope (30x magnification).

2.3 Results

The study shows that the different irrigations affected the sealing efficiency of the investigated sealers differently. The highest leakage occurred with *Tubli-Seal*. Especially the final rinse with ascorbate and CHX did not show sufficient sealing efficiency. Between *AH Plus* and *Apexit* there were no significant differences detected. The sealer *Apexit* revealed the lowest leakage values with all irrigation solutions. The highest leakage occurred in the presence of CHX contamination. All three sealers showed rather poor results here, but only *Tubli-Seal* in combination with sodium ascorbate demonstrated even worse results and thus, the worst of all combinations in the present study. EDTA revealed the least impact on the sealing efficiency of all sealers investigated.

2.4 Conclusion

A substantial drying of the canal system is still highly important, as both the classic and more recent sealer can be very sensitive to moisture. The contamination with a liquid may not generally have a negative impact on the sealing efficiency, but more the nature of the liquid. In particular, regarding the use of different root canal irrigations it is important to know how far the used irrigations affect the sealing properties of the sealer. Not every sealer revealed similar sealing efficiency with the different root canal irrigants.

3 Einleitung

Eine endodontische Behandlung ist heute, auf Grund der stetigen Weiterentwicklung, sowohl im technischen als auch im wissenschaftlichen Bereich, eine in der konservierenden Zahnheilkunde immer mehr an Bedeutung gewinnende, zentrale Behandlungsmethode, wodurch die Extraktion des betroffenen Zahnes immer weiter an Bedeutung verliert. Selbst komplexe Wurzelkanalsysteme und stark gekrümmte Kanäle sind heute mittels flexibler, maschineller Aufbereitungssysteme, effektiv, einfacher und damit schneller zu therapieren [4,98]. Eine irreversibel entzündete oder nekrotische Pulpa mit oder ohne klinische bzw. radiologische Beteiligungen des periapikalen Gewebes sind die hauptsächliche Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung [34]. Die chemo-mechanische Aufbereitung befreit dabei das Kanalsystem von infektiösem Gewebe und Bakterien und ein nachfolgender, dichter Verschluss soll eine mögliche Reinfektion des endodontischen Systems verhindern [34].

Neben verschiedenen maschinellen und manuellen Systemen werden diverse Spüllösungen verwendet, die nicht nur die Arbeit der Instrumente unterstützen, sondern auch durch ihre verschiedenen Eigenschaften das Wurzelkanalsystem desinfizieren, Gewebereste auflösen oder aber die Schmierschicht entfernen sollen [6,66,75]. Die chemische Aufbereitung ist deswegen von großer Bedeutung, da ohne die Unterstützung der Spüllösungen das komplexe Kanalsystem nicht alleine durch die Instrumentation gereinigt werden kann [6,100]. Diese Komplexität bedingt allerdings auch, dass es trotz intensiver Trocknung zu einer gewissen Restfeuchtigkeit im Wurzelkanalsystem vor endgültiger Obturation kommt [52].

Die gängigste Methode das Wurzelkanalsystem zu füllen, ist auch heute noch der Einsatz von Guttapercha in Verbindung mit einem härtenden Sealer [125]. Die Tatsache, dass die verschiedenen Sealer die besten Abbindereaktionen im trockenen Milieu zeigen, ist heute hinlänglich bekannt [51,52,96]. Das Abbindeverhalten der Sealer wird allerdings durch die Gegenwart von Feuchtigkeit beeinflusst, wo bei Feuchtigkeit alleine nicht zwangsläufig den gleichen negativen Einfluss auf die Dichtigkeit der verschiedenen Sealer haben muss [86].

Die vorliegende Studie befasst sich mit dem Abbindeverhalten von drei klassischen Wurzelkanalsealern in feuchtem Milieu, wobei die unterschiedlichen Abschlusspülungen EDTA, CHX, Ascorbat und Wasser im Fokus standen.

4 Literaturübersicht

4.1 Wurzelkanalbehandlung

Ziel einer endodontischen Behandlung ist es, dass dreidimensionale Wurzelkanalsystem von infiziertem Gewebe und Mikroorganismen zu befreien und im Anschluss bakteriendicht zu verschließen [8]. Nach adäquater Trepanation des Zahnes und Schaffung gerader Zugänge zum Wurzelkanalsystem, folgt die Aufbereitung der Wurzelkanäle. Mittel der Wahl ist dabei die mechanische Aufbereitung und chemische Desinfektion [27,88]. Im Anschluss erfolgen die Trocknung des Kanals und der bakteriendichte Verschluss [34].

4.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die mechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems erfolgt entweder mittels Handinstrumenten oder zunehmend auch durch maschinelle Systeme [95]. Mit der mechanischen Aufbereitung von Wurzelkanälen soll nekrotisches oder vitales Gewebe entfernt werden [34]. Die Kanalanatomie soll möglichst nicht verändert werden und wird dabei soweit vergrößert, so dass desinfizierende und reinigende Spüllösungen effektiv das Wurzelkanalsystem erreichen [34]. Außerdem wird der Wurzelkanal zur Aufnahme einer dauerhaften Wurzelfüllung vorbereitet [34].

4.2.1 Manuelle Aufbereitung

Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung ermöglicht dem Behandler durch den Kontakt zur Kanalwand ein taktiles Empfinden. Gerade bei komplexen Kanalanatomien ist die Aufbereitungsleistung jedoch nicht ausreichend, so dass Dentinspäne, Schmierschicht und nicht bearbeitete Areale im Wurzelkanal verbleiben [48]. Zur manuellen Aufbereitung der Wurzelkanäle werden Chrom-Nickel-Stahl und Nickel-Titan Instrumente verwendet. Stahlinstrumente können in gekrümmten Kanälen nicht die gleiche Reinigungsleistung erzielen wie Nickel-Titan Instrumente [15]. Auch ist die Gefahr der Ka-

nalbegradigung, Stufenbildung und Perforation durch die unflexiblen Stahlinstrumente größer als bei den hochflexiblen Nickel-Titan Instrumenten, die durch das Formgedächtnis (den so genannte Memory-Effekt) besser den Kanalverlauf in gekrümmten Kanälen folgen können [109,116,117].

4.2.2 Maschinelle Aufbereitung

Alle mechanischen Aufbereitungstechniken haben ihre ganz individuellen Eigenheiten. Maschinelle Systeme standardisieren und beschleunigen die Aufbereitung. Eine Begradigung der Kanalanatomie in gekrümmten Kanälen wird dabei gegenüber anderen Techniken eindeutig minimiert [94,95]. Die konische Aufbereitung mit einer Hybridtechnik aus der Crown-Down- [73] oder der Step-Back-Technik [24] wird dabei von den meisten Systemen verwendet, da sie das Frakturrisiko verringert, das Herausspülen der Dentinspäne erleichtert, das Überstopfen von Debris über die apikale Konstriktion hinaus verringert [76] und eine bessere Kompaktion der bei der Wurzelfüllung eingebrachten Guttapercha ermöglicht. Seit einigen Jahren sind auch Systeme wie *Mtwo* (VDW, München, Deutschland) auf dem Markt, die mit der so genannten Single-length-Technik arbeiten, bei der beginnend mit dem ersten Instrument der Wurzelkanal auf volle Arbeitslänge bearbeitet wird [92,93]. Neuer auf dem Markt sind die Single-file-Systeme wie *Reciproc* (VDW, München, Deutschland) oder *WaveOne* (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz), die eine mechanische Aufbereitung des kompletten Wurzelkanals mit nur einer Feile versprechen [17]. Ein großer Vorteil dieser Systeme ist die schnelle Aufbereitungsmethode mit guter Aufbereitungsleistung auch in gekrümmten Kanälen [16]. Allerdings produzieren die Einfeilen-Systeme mehr Debris und transportieren diesen auch stärker über den Apex hinaus [18]. Zudem verursachen sie postoperativ signifikant mehr Beschwerden als vollrotierende Systeme [38].

4.3 Schmierschicht (Smear layer)

Im Rahmen der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung entsteht auf der Kanalwand eine Schicht aus organischen und anorganischen Partikeln, der Schmierschicht. Diese Schmierschicht besteht aus Dentinspänen, Geweberesten, Odontoblastenfortsätzen und Blutresten und dringt in die Dentintubuli ein [69,101] In wie weit die Schmierschicht

an der Kanalwand belassen werden sollte, wird kontrovers diskutiert. Einige Autoren beschreiben eine bessere Haftung von Sealern an der Kanalwand und eine verminderte Durchlässigkeit von Bakterien ins Dentin [87,110]. Die Schmierschicht ist aber auch ein Reservoir an Mikroorganismen [79]. Eine Entfernung derselben reduziert damit auch die in ihr enthaltenen Toxine. Bakterielle Mikroorganismen haben weniger Substrate und damit eine geringere Vermehrungsquote [14,111]. Die An- oder Abwesenheit einer Schmierschicht wirkt sich unterschiedlich auf den Verbund zum Kanalwanddentin einer Wurzelfüllung aus, je nachdem welche Wurzelkanal Sealer verwendet werden [14,90]. Die Dichtigkeit der Wurzelfüllung wird verbessert, so dass heute die meisten Autoren die Entfernung der Schmierschicht empfehlen [25,61,63].

4.4 Wurzelkanalspülung

Bereits die Pioniere Willoughby Dayton Miller (1890) und Louis I. Grossman (1940) erkannten den Einfluss der bakteriellen Besiedlung der Mundhöhle und die Notwendigkeit der Desinfektion und Reinigung im Rahmen der endodontischen Therapie [100].

Die rein mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals vermag es nicht, sämtliche Gewebereste, Dentinspäne und die bakterielle Besiedlung so zu minimieren, dass eine erfolgreiche Behandlung zu erwarten ist [1].

Die Spüllösung sollte die bakterielle Besiedlung und die entstandenen Toxine im Wurzelkanalsystem reduzieren, Reste des Pulpagewebes wirkungsvoll auflösen und entfernen, sowie im Wurzelkanal verbliebende Dentinreste herausspülen [9,34,127].

Die Effektivität der Spüllösungen ist dabei abhängig von Volumen, Menge, Temperatur, und Wirkdauer [9,112]. Damit die Spüllösungen einen ausreichenden Effekt im stark verzweigten apikalen Bereich erreichen können, muss die Spülkanüle möglichst in die Nähe vor dem apikalen Konstrukt eingeführt werden können, was eine entsprechend große mechanische Aufbereitung voraussetzt [21,36,59,82].

Das konsequente Spülen zwischen den Instrumentenwechseln erhöht die Schneidleistung der Instrumente, erhöht die Gleitwirkung und vermindert das Frakturrisiko [29].

Tab. 1 : Ziele und Anforderungen an endodontische Spüllösungen

Ziele der Wurzelkanalspülung
Desinfektion des Wurzelkanalsystems
Auflösen und Entfernen organischer Bestandteile
Unterstützung der mechanischen Aufbereitung
Anforderungen der Wurzelkanalspülung
Desinfektion
Biokompatibilität
gewebeauflösend
leicht zu applizieren

4.4.1 Spüllösungen zur Desinfektion

4.4.1.1 Natriumhypochlorit

Natriumhypochlorit (NaOCl) ist das Natriumsalz der hypochlorigen Säure (HClO). Es gilt in der Literatur als die Spüllösung der Wahl. In einer Konzentration zwischen 0,5% und 5 % zeigt es gut desinfizierende und Gewebe auflösende Eigenschaften [20,22,77]. Eine höhere Konzentration verbessert die antibakterielle Wirkung nur unwesentlich, erhöht dagegen aber die Toxizität der Lösung [41]. Eine niedrigere Konzentration entfernt nicht ausreichend das Pulpagewebe [13]. Des Weiteren ist die Gewebe auflösende Eigenschaft von Natriumhypochlorit abhängig von der Applikationsmenge, der Applikationsdauer und der Temperatur, wobei eine Erhöhung der jeweiligen Parameter die Reinigungseffizienz erhöht [26]. Natriumhypochlorit sollte aber nicht als alleinige Spüllösung verwendet werden, da es nicht in der Lage ist die bei der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung entstandene Schmierschicht zu entfernen [110]. Natriumhypochlorit kann aber bei zu langer Anwendung die Mikrohärtigkeit des Dentins herabsetzen und vermindert die Haftkraft von harzhaltigen Wurzelkanalsealern [35,74]. In diesem Zusammenhang wird in letzter Zeit das Öffnen Natriumascorbat als Spüllösung empfohlen, da Natriumascorbat als Neutralisator die negativen Eigenschaften von Natriumhypochlorit auf den Haftverbund mit harzhaltigen Sealern entgegenwirkt [74]. Eine Spülung mit einer 10%-Lösung verbessert die Haftwerte von Total-etch-

oder Self-etch-Bondings in der Pulpakammer [115]. Allerdings liegen auch Studien vor, die keinen signifikanten Unterschied zu einer alleinigen Abschlusspülung mit Natriumhypochlorit feststellen konnten [119].

Tab. 2 : Eigenschaften von Natriumhypochlorit

Eigenschaften
antimikrobielle Wirkung
geringe Toxizität
Auflösung von nekrotischem und vitalem Gewebe
Neutralisation von Liposacchariden [19]

4.4.1.2 Chlorhexidindigluconat (CHX)

Chlorhexidindigluconat hat in der Konzentration zwischen 0,2 % und 2 % eine sehr gute antimikrobielle Wirkung [10]. Da CHX besonders gut gegen grampositive Bakterien und Fungi wirkt, die unter Umständen Resistenzen gegen Natriumhypochlorit zeigen, sollte es vor allem bei Revisionsbehandlungen verwendet werden. Da es nicht gewebeauflösend reagiert, sollte man es nicht als alleinige Spüllösung verwenden, sondern als Wechsellösung zum Beispiel mit Natriumhypochlorit [46]. Allerdings ist bei der Wechsellösung zu bedenken, dass es bei direktem Kontakt zwischen Natriumhypochlorit und Chlorhexidindigluconat zu bräunlichen Ausfällungen kommt und dieses Präzipitat Dentinkanäle verstopft und die effektive Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals verhindert wird [3]. Frühere Studien identifizierten dieses Präzipitat als das hochgiftige Parachloranilin [11]. Neuere Untersuchungen bestätigen zwar das Vorhandensein von Chloraminen, jedoch konnte kein freies Parachloranilin nachgewiesen werden [78,108]. Eine Zwischenspülung mit z.B. Alkohol oder destilliertem Wasser ist daher zu empfehlen. Ein negativer Effekt auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalsealern konnte bisher nicht festgestellt werden [37].

4.4.2 Spüllösungen zum Entfernen der Schmierschicht

4.4.2.1 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) ist ebenfalls ein Chelatbildner mit nur geringer antimikrobieller Wirkung. Die Spüldauer bis zur vollen Wirkung beträgt allerdings bis zu 3 Minuten, was zu einer erheblichen Verlängerung der endodontischen Behandlung führt [30]. Nach der Spülung mit EDTA sollte mit Natriumhypochlorit nachgespült werden, um eine höhere Dichtigkeit bei der nachfolgenden Wurzelkanalfüllung zu erreichen [53]. Zudem kann EDTA als letzte Spülung zu einer verlängerten Wirkung dieses Chelators als Weichmacher wirken. Es kommt zur Demineralisation des Dentins und zur Herabsetzung der Härte [102,126].

4.4.2.2 Zitronensäure

Zitronensäure wird zum Auflösen der Schmierschicht verwendet. Als Chelatbildner verhindert es die Bildung von Präzipitaten und löst Calciumphosphat auf [12,85]. Zitronensäure verfügt zudem über eine antimikrobielle Wirkung [64]. Eine zu hohe Konzentration und eine zu lange Einwirkzeit haben einen negativen Effekt auf das Kanalwanddentin [30]. Bei sachgerechter Anwendung von Zitronensäure als endodontische Spüllösung kann aber die Adhäsion von Wurzelkanalsealern verstärkt werden [89]

4.4.3 Spüllösung zur Unterstützung der Trocknung

4.4.3.1 Alkohol

Alkohol wird im Rahmen der Endodontologie häufig als letzte Spülung vor der Wurzelkanalfüllung eingesetzt. Isopropylalkohol oder Ethylalkohol wird in einer Konzentration

von 70-90% angewendet. Vor der Endgültigen Trocknung durch den Einsatz von Papierspitzen, bewirkt der Alkohol eine beschleunigte Kanaltrocknung. Durch seine Verdunstung wird auch den kleineren Verästelungen des Wurzelkanalsystems Restfeuchtigkeit schneller entzogen. Insgesamt gibt es wenige Studien zur Anwendung von Alkohol während oder nach chemo-mechanischer Aufbereitung der Wurzelkanäle. Laborstudien zeigten sowohl eine bessere Penetration des Sealers in das Dentin bei verminderter Microleakage der Wurzelkanalfüllung [106], als auch keinen Effekt auf die Penetration des Sealers [120]. Ein klarer Vorteil für die Spülung mit Alkohol ist daher ohne klinische Vergleichsstudien nicht zu erkennen.

4.5 Wurzelkanalfüllung

Das Ziel der Wurzelkanalfüllung ist ein dauerhafter, bakteriendichter Verschluss des gereinigten und desinfizierten Wurzelkanalsystems [34]. Die Wurzelfüllung soll wandständig und bis zur apikalen Konstruktion das Wurzelkanalsystem verschließen. Eine Reinfektion von apikal und koronal soll dauerhaft verhindert werden [105].

Die verwendeten Wurzelfüllmaterialien sollten dabei biokompatibel, dimensionsstabil, dicht, Feuchtigkeit unempfindlich, bakteriostatisch, röntgenopak und im Falle einer notwendigen Revision leicht zu entfernen sein [34]. Als Wurzelfüllmaterialien werden heute überwiegend Guttapercha und ein Sealer verwendet [89].

4.5.1 Guttapercha

Guttapercha wurde schon Mitte des 19. Jahrhunderts durch Bowman im Rahmen von endodontischen Behandlungen eingeführt [49]. Die Guttapercha setzt sich dabei je nach Hersteller folgendermaßen zusammen (Tab.3):

Tab. 3 : Zusammensetzung endodontischer Guttapercha [47]

Zusammensetzung
19% - 45% eingedicktem Saft der Palaquium- und Isonandrabäumen (Matrix)
33% - 61% Zinkoxid als Füllstoff
3% Wachse oder Kunststoffe
Metallsulfate

4.5.2 Sealer

Der Sealer dient dazu als Bindeglied zwischen der Guttapercha und dem Kanalwand-dentin und füllt dabei kleinste nicht mit Guttapercha gefüllte Areale aus [89]. Der Hauptanteil einer Wurzelfüllung sollte aber aus Guttapercha bestehen, da die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung mit zunehmendem Sealeranteil je nach Sealer-eigenschaften abnimmt [121]. Die Sealer unterscheiden sich auf Grund ihrer Zusammensetzung (Tab.4), haben aber die Gemeinsamkeit, dass sie in einem plastischen Zustand in den Kanal eingebracht werden können und dort wie ein Zement aushärten. Die Abdichtungseffizienz eines Sealers wird durch seine Schichtstärke und seine Löslichkeit bestimmt [122,124].

Tab. 4: Klassifikation von Wurzelkanalsealern

Klassifikation
a) weichbleibende Pastenmaterialien (temporäre Füllungen)
b) aushärtende Pastenmaterialien auf Basis von
Zinkoxid-Eugenol
Glasinomerzementen
Kunsthharzen
Silikonen

4.5.2.1 Schichtstärke

Eine geringe Schichtstärke des Sealers erhöht bei den meisten Sealern die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung zwischen Guttapercha und Kanalwanddentin [122,124].

AH Plus kommt mit der geringsten Schichtstärke der zu untersuchenden Sealern aus um einen effektiven Verbund zwischen Guttapercha und Kanalwanddentin zu erreichen [72].

Der auf Epoxidharz basierende Sealer der Firma Densply, ist ein Zweikomponenten-System bestehend aus zwei Pasten, die im Verhältnis von 1:1 gemischt werden. Laut Herstellerangaben verfügt er über eine hervorragende Dimensionstabilität, dauerhafte Dichtigkeit, ist Selbsthaftend und stark röntgensichtbar [84].

In der Literatur finden sich neben *AH Plus* aber auch andere Sealer wie *KetacEndo* und *Pulp Canal Sealer* die gute Dichtigkeitswerte bei geringer Schichtstärke erreichen [40]. Im Gegensatz dazu gibt es aber auch Studien, die belegen, dass es Sealer, wie zum Beispiel *AH26* und *Sealapex* gibt, die mit einer größeren Schichtstärke gute Dichtigkeitswerte erreichen [40,122].

4.5.2.2 Löslichkeit

Die Löslichkeit der Sealer in Flüssigkeiten bestimmt stark seine Dimensionstabilität und somit seine physikalischen Eigenschaften.

Apexit ist ein auf Calciumsalicylat basierender Sealer, der eine sehr hohe Löslichkeit besitzt [72]. Die Aushärtung von *Apexit* erfolgt über eine Komplexbildung. Für die Komplexbildung sind drei Komponenten maßgebend: Calciumhydroxid, Salicylat und Wasser [91].

Apexit ist sehr dimensionsstabil, jedoch wird diese Eigenschaft durch die hohe Löslichkeit Calciumsalicylat basierender Sealer wieder aufgehoben [96]. *Apexit* setzt Hydroxylionen frei, die die physiologische Kalzifikation an der apikalen Konstriktion stimulieren sollen [31,104]. Die Ionen-Freisetzung fällt allerdings im Vergleich zu anderen, auf Calciumsalicylat basierenden Sealern deutlich geringer aus und damit auch der physiologische Effekt [31].

Feuchtigkeit im Wurzelkanal hat auf *AH Plus* die geringsten Auswirkungen im Vergleich zu anderen Sealern, die wesentlich sensibler bei Kontakt mit Flüssigkeiten reagieren [96].

Selbst nach 28 tägiger Lagerung in verschiedenen Lösungen von destilliertem Wasser und künstlichen Speichel mit unterschiedlichen pH-Werten, zeigte *AH Plus* im Vergleich zu *Tubli-Seal* und *Apexit* die geringste Löslichkeit [72].

4.5.2.3 Haftverbund

Voraussetzung für eine ausreichende Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung hat auch der Haftverbund zwischen dem Kernmaterial Guttapercha und dem Kanalwanddentin [87,89]

Die durch die mechanische Präparation des Wurzelkanals entstehende Schmierschicht beeinflusst die Haftung zum Kanalwanddentin je nach verwendetem Sealer [32,42,90]. *AH Plus* erzielt am Dentin sehr hohe Haftwerte, was auch seiner langsamen Abbindezeit von acht Stunden zugeschrieben wird [80,87]. Auch nach Vorbehandlungen des Dentins mit Phosphorsäure, Zitronensäure, EDTA und destilliertem Wasser, zeigte *AH Plus* die höchsten Haftwerte aller untersuchten Sealer[87].

Die Spülung des Wurzelkanals zur Entfernung der Schmierschicht mit EDTA verringert die Haftwerte von *Apexit*, wo hingegen die vorherige Spülung mit Phosphorsäure oder Zitronensäure, die ebenfalls die Schmierschicht entfernen, die Adhäsion von Sealern auf Basis von Zinkoxid-Eugenol wie *Tubli-Seal* steigert [25]. *Tubli-Seal* kann durch seinen Eugenol Anteil im periapikalen Gewebe zytotoxisch wirken [43]. Zinkoxid-Eugenol haltige Sealer reagieren durch Calciumhydroxid mit einem spröden und körnigen Abbindeverhalten [71]. *Tubli-Seal* besitzt zwar eine kurze Abbindezeit, diese ist jedoch zur Verarbeitung ausreichend. Ein Risiko aller Zinkoxid haltiger Wurzelkanalsealer ist bei der Extrusion in den Sinus maxillaris mögliche wachstumsfördernde Wirkung der Aspergillose der Kieferhöhle [44].

Die Adhäsion von *Tubli-Seal* zum Kanalwanddentin beruht sowohl auf der Oberflächenenergie des Dentins und der Guttapercha, als auch auf der Oberflächenspannung des Sealers und seiner Eigenschaft an feuchten Flächen zu haften [87].

Sealer sollten für hohe Haftwerte am Dentin auch über die Fähigkeit verfügen, eine ausreichende lineare Penetrationstiefe in die Dentintubuli zu erreichen, was bei Vorhandensein der Schmierschicht nicht möglich wäre [28].

4.6 Wurzelkanalfülltechniken

Die Technik den Wurzelkanal zu füllen gehört sicherlich neben der mechanischen Aufbereitung zu dem schwierigsten Unterfangen in der endodontischen Therapie. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Obturationstechniken.

Tab. 5: Obturationstechniken - gegliedert nach warmer oder kalter Applikation

Obturationstechniken	
Zentralstifttechnik	ohne Wärme
Lateralkompaktion	ohne Wärme
Vertikalkompaktion	Wärme
Obturatorssysteme	Wärme
Injektionstechniken	Wärme

Die Zentralstifttechnik ist die einfachste Art, einen Wurzelkanal mit Guttapercha und einem Sealer zu füllen. Ein entsprechend der Aufbereitungsgröße ausgewählter und angepasster Guttaperchastift wird mit pumpenden Bewegungen in den mit Sealer gefüllten Kanal eingebracht [54]. Sobald der aufbereitete Kanal nicht der Form des Stiftes entspricht, werden die Diskrepanzen mit Sealer aufgefüllt. Diese Methode führt daher unter Umständen zu einem hohen Anteil an Sealer-Material, was zu einer erheblichen Zunahme an Undichtigkeiten führt [83]

Die Lateralkompaktion ist die heute noch am meisten gelehrtete Obturationsmethode [60]. Es wird ebenfalls ein Zentralstift, ein sogenannter Masterpoint, für den Kanal ausgewählt. Der Masterpoint muss mit Klemmpassung bis zur Aufbereitungslänge eingeführt werden können, damit er bei der nachfolgenden Kompaktion und dem Abschmelzen nicht wieder herausgezogen wird. Anschließend wird er dünn mit Sealer beschichtet und auf Arbeitslänge eingebracht. Mit Hilfe von Spreadern wird dieser Stift lateral kompaktiert und der gewonnene Raum wird mit weiteren akzessorischen kleineren Stiften gefüllt. Nach Abtrennen der koronal überstehenden Guttaperchastifte wird die Guttapercha noch abschließend vertikal mit einem Handplugger verdichtet [65]. So entsteht eine dichte, homogene Wurzelfüllung, die einfach zu erlernen ist, kostengünstig und gute Ergebnisse zeigt, beim Versuch einen dauerhaften dichten Verschluss des Kanalsystems zu erreichen [57,118]. Im Gegensatz zur Zentralstifttechnik ist auch das

Risiko von Überpressen des Füllmaterials geringer [45]. Allerdings wird die Gefahr diskutiert, dass es bei dieser Technik zu einer erhöhten Gefahr der Entstehung von Mikrorissen im Wurzeldentin kommt und auch zu Wurzellängsfrakturen [103]

1963 beschrieb Herbert Schilder die Methode der vertikalen Kompaktion, um Wurzelkanalsysteme dreidimensional zu füllen [97]. Durch Wärme plastifizierte Guttapercha wird mit Hilfe eines Pluggers vertikal kompaktiert. Durch den hydrostatischen Druck gelangt Sealer und Guttapercha auch in Seitenkanäle. Ein um 0,5 mm gekürzter Masterpoint wird in den Kanal eingebracht und vertikal kompaktiert [97]. Danach wird die Guttapercha durch eine erhitzte Sonde erhitzt und anschließend wieder verdichtet. Da beim Herausziehen der Sonde gewollt immer wieder Guttapercha entfernt wird, soll der Vorgang des Erhitzens und der mittels kaltem Stopfinstrument (Plugger) durchgeführte Verdichtung so lange wiederholt werden, bis 5 mm vom Apex entfernt eine dichte Füllung entsteht. Diesen Vorgang nennt man auch Downpack [97]. An diesen Schritt schließt sich das Auffüllen des Wurzelkanal nach koronal hin, der Backfill, an [69]. Hierzu werden kleine Portionen Guttapercha in den Kanal eingeführt, plastifiziert und kondensiert, bis der gesamte Kanal gefüllt ist. Diese Methode erzeugt dauerhafte, dichte und dreidimensionale Wurzelfüllungen [39]. Die ursprüngliche Schildermethode setzte sich in der Praxis aber nicht durch, da sie extrem schwierig zu erlernen und sehr zeitaufwändig war. Durch elektronisch gesteuerte Hitzesonden und Guttapercha-Injektions-systemen konnte die vertikale Kompaktierung deutlich vereinfacht und in verkürzter Zeit durchgeführt werden.

Der Amerikaner Stephen Buchanan hatte 1987 die Schilder-Methode weiter entwickelt, so dass der Downpack in nur einer Phase möglich ist und mit Hilfe des Injektionssystems auch der Backfill schnell durch zuführen ist [58]. Die Ergebnisse der Continuous-Wave-Technik sind vergleichbar mit denen der Schildermethode [39,55,67]. Eine Hitzesonde (Heat Carrier) wird bis auf 5 mm kürzer als Arbeitslänge eingeführt und trennt dort den vollständigen koronalen Anteil des zuvor eingebrachten Masterpoints ab. Dann wird dieser Anteil mit einem Handinstrument vertikal kompaktiert und in der Backfill-Phase mit Hilfe eines Injektionssystems der restliche Kanal in mehreren Inkrementen gefüllt.

Bei Trägersystemen wie *Thermafil* (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) oder *Guttacore* (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) wird die Guttapercha um einen Trägerstift erwärmt und so in den Kanal eingebracht. *Thermafil* besitzt einen Kunststoffkern, wobei *Guttacore* nur noch aus einer entsprechend modifizierten Guttapercha besteht. Die Obturatoren werden in einem Ofen erwärmt und anschließend unter leicht-

tem Druck bis auf Arbeitslänge eingeführt. Anschließend wird der Trägerstift abgebrochen bzw. abgetrennt. Die Dichtigkeit der Wurzelfüllungen ist ähnlich, teilweise auch besser als bei der lateralen Kompaktion, allerdings bei deutlich geringerem Zeitaufwand [50,81].

5 Zielsetzung und Arbeitshypothesen

Diese In-vitro-Studie sollte das Abdichtungsvermögen von drei klassischen Wurzelkanalsealern in Abhängigkeit von vier unterschiedlichen Abschlussspülungen untersuchen.

Dabei sollten folgende Arbeitshypothesen untersucht werden:

Arbeitshypothese 1:

Die untersuchten Wurzelkanalsealer zeigen signifikante Unterschiede hinsichtlich ihres Abdichtungsvermögens.

Arbeitshypothese 2:

Die verschiedenen Abschlussspülungen zeigen signifikante Unterschiede hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die untersuchten Wurzelkanalsealer.

6 Material und Methode

6.1 Übersicht des Versuchsdesigns

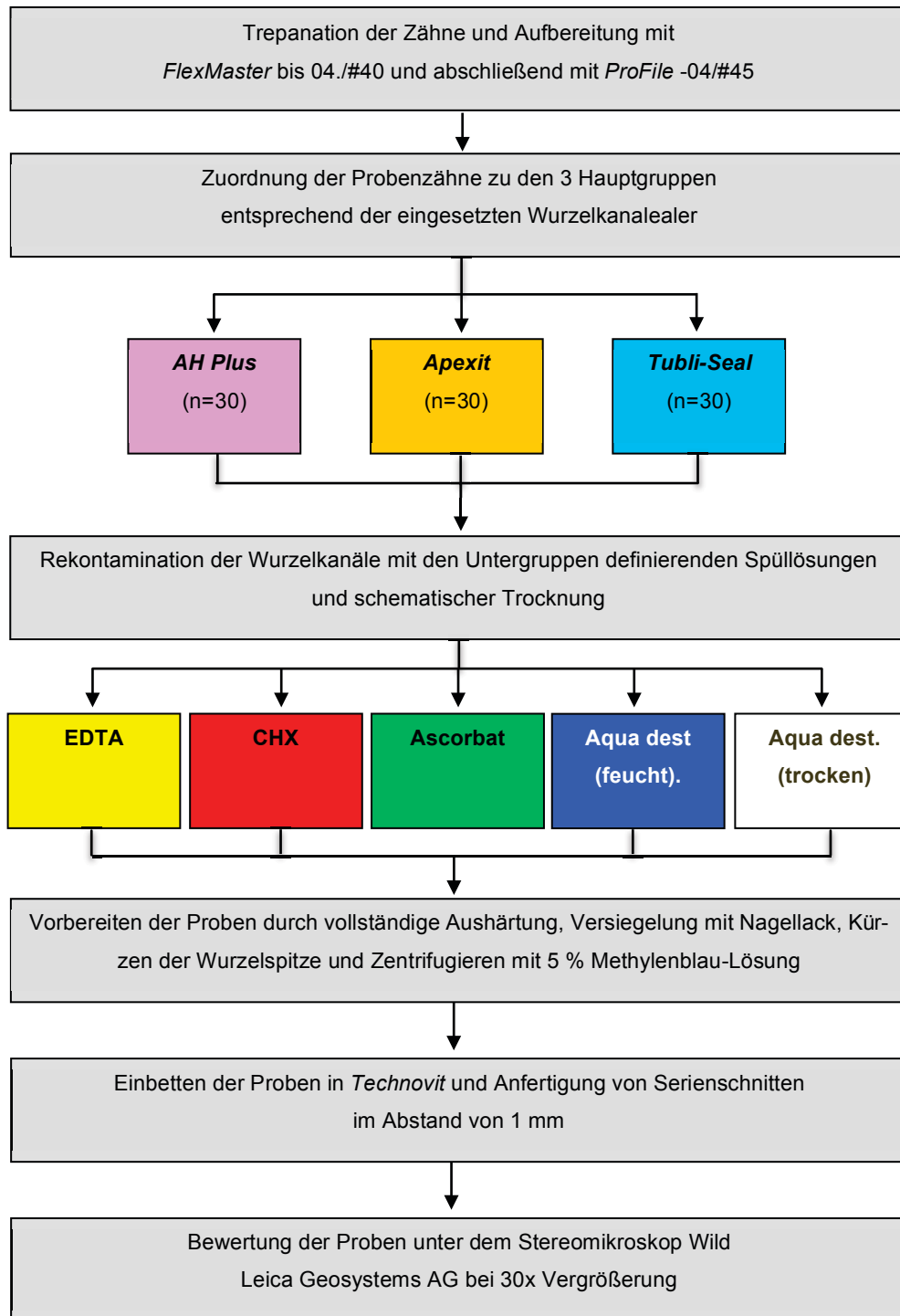


Abb. 1: Flowchart des Versuchsdesigns

6.2 Aufbereitung und Spülung der Wurzelkanäle

Um zu ermitteln, welchen Einfluss verschiedene Spüllösungen auf die Dichtigkeit von unterschiedlichen Sealern haben, wurden 150 gerade Wurzelkanäle der *Schneider*-Klasse I [99] in die Studie mit einbezogen. Die Zähne lagerten in 0,5 % Chloramin T-Lösung, um ein Bakterienwachstum zu verhindern. Die Zähne wurden in 3 Hauptgruppen, 4 Untergruppen sowie eine Kontrollgruppe aufgeteilt (Tabelle 6).

Nach Trepanation der Zähne mit einem gekühlten, zylindrischen Diamantschleifer, wurde die Gängigkeit der Kanäle mit K-Räumern kleiner ISO Größe überprüft. Die Wurzelkanäle wurden dann maschinell mit *FlexMaster* (VDW, München, Deutschland) bis zur Größe .04#40 und abschließend mit *ProFile* (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) .04#45 aufbereitet. Aufbereitungslänge war 1 mm vor Apex. Als Wechsellösung wurden NaOCl (5%) und Zitronensäure (40%) verwendet. Nach Trocknung der Kanäle mit zwei Papierspitzen für jeweils drei Sekunden, wurden die Kanäle mit einer der Gruppe entsprechenden Abschlusspüllösung für 1 Minute rekontaminiert. Die Kontrollgruppen wurden hingegen nicht kontaminiert und vollständig getrocknet.

Tab. 6: Einteilung der Versuchsgruppen

Gruppe	Sealer	Abschlusssspülung
1a	<i>AH Plus</i>	EDTA 15%
1b	<i>AH Plus</i>	CHX 2%
1c	<i>AH Plus</i>	Ascorbat 10%
1d	<i>AH Plus</i>	Wasser
1e	<i>AH Plus</i>	Wasser (trockener Wurzelkanal, Kontrollgruppe)
2a	<i>Apexit</i>	EDTA 15%
2b	<i>Apexit</i>	CHX 2%
2c	<i>Apexit</i>	Ascorbat 10%
2d	<i>Apexit</i>	Wasser
2e	<i>Apexit</i>	Wasser (trockener Wurzelkanal, Kontrollgruppe)
3a	<i>Tubli-Seal</i>	EDTA 15%
3b	<i>Tubli-Seal</i>	CHX 2%
3c	<i>Tubli-Seal</i>	Ascorbat 10%
3d	<i>Tubli-Seal</i>	Wasser
3e	<i>Tubli-Seal</i>	Wasser (trockener Wurzelkanal, Kontrollgruppe)

6.3 Wurzelkanalfüllung

Um die Verdunstung der verbliebenen Abschlusssspülung im Wurzelkanal zu verhindern und damit die Studie negativ zu beeinflussen, wurden die Wurzelkanäle in unmittelbarem Anschluss an die Trocknungssequenz abgefüllt. Hierzu wurden die entsprechenden Sealer nach Herstellerangaben an gemischt und zusammen mit einem Guttaperchastift nach der Zentralstifttechnik in die Kanäle eingebracht. Mit Hilfe eines Lentulos der Größe #40 wurde das Sealmaterial (Tab. 7-9 u. Abb. 2-4) in den Kanal appliziert und der dünn mit Sealer beschichtete Guttaperchastift der Größe .04#45 mit pumpender Bewegung, langsam in den Kanal eingeführt. Restliche Guttapercha wurde mit einem heißen Heide-

mannspatel, zu viel Sealer mit einem Wattekügelchen (*Roeko Wattekügelchen*, Coltène/Whaledent, Langenau, Deutschland) entfernt. Die Trepanationsöffnung wurde mit einem provisorischen Füllungszement (*Cavit*, 3M Espe, Seefeld, Deutschland) verschlossen.

Tab. 7 Zusammensetzung von *AH Plus*

AH Plus	Paste A	Paste B
	Bisphenol A Epoxidharz	Dibenzyl-Diamin
	Bisphenol F Epoxidharz	Aminoadamantan
	Calciumwolframat	Tricyclodecan-Diamin
	Zirkoniumoxid	Calciumwolframat
	Siliziumdioxid	Zirkoniumoxid
	Eisenoxid	Siliziumdioxid
		Silikonöl



Abb. 2: *AH Plus* – Paste A (weiß), Paste B (violet)

Tab. 8: Zusammensetzung von *Apexit*

Apexit	Base	Activator
	Calciumhydroxid	Trimethylhexandioldisalicylat
	Kolophoniumhydrat	Wismutcarbonat
	Siliziumdioxid	Wismutoxid
	Calciumoxid	Siliziumdioxid
	Zinkoxid	Butandioldisalicylat
	Calciumphosphat	Kolophoniumhydrat
	Polydimethylsiloxan	Calciumphosphat
	Alkylester der Phosphorsäure	Alkylester der Phosphorsäure

**Abb. 3:** *Apexit* – Base (grün), Activator (weiß)

Tab. 9: Zusammensetzung von *Tubli-Seal*

<i>Tubli-Seal</i>	Base	Accelerator
	Zinkoxid	Eugenol
	Bariumsulfat	Iod Thymol
	Wachse	Öle
		Modifikator

**Abb. 4:** *Tubli-Seal* – Base, Accelerator (grau)

6.4 Vorbereitung der Proben

Zur vollständigen Aushärtung der Proben lagerten die zu untersuchenden Zähne für eine Woche in einem Thermoschrank (Memmert B80, Memmert, Schwabach, Deutschland) bei 37°C und 100% Luftfeuchtigkeit. Anschließend wurden die Zähne zur kompletten Versiegelung mit zwei Schichten Nagellack beschichtet (Abb.1). Die Wurzelspitze wurde an einem diamantierten Trimmer bis zum Erscheinen der Gutta-percha gekürzt. Jeweils eine Probe wurde in ein Reagenzglas gegeben, das gleichmäßig mit einer 5 % Methylenblau-Lösung gefüllt wurde. Im Anschluss wurden die Proben mit 30g für 3 Minuten lang zentrifugiert (*Varifuge K*, 400 Umdrehungen/min, Heraeus, Hanau, Deutschland).

Nach dem Zentrifugieren wurden die Proben über einem Sieb mit Wasser abgespült und die Trimmstelle mit etwas Schleifpapier von eventuell vorhandenen, die apikale Trennstelle bedeckenden Farbresten vorsichtig gesäubert.

Zum Einbetten der Proben mit *Technovit* (Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland) wurden diese mit etwas *Heliobond* (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) ihrer Gruppe entsprechend auf einer Glasscheibe befestigt. Nach Aushärtung der Proben wurden von jeder Gruppe mit Hilfe einer Innenlochsäge (Abb.2) ein Millimeter dicke Serienschritte angefertigt. Nun konnte anhand der Serienschritte die Farbstoffpenetration von Methylenblau von apikal nach koronal überprüft werden.

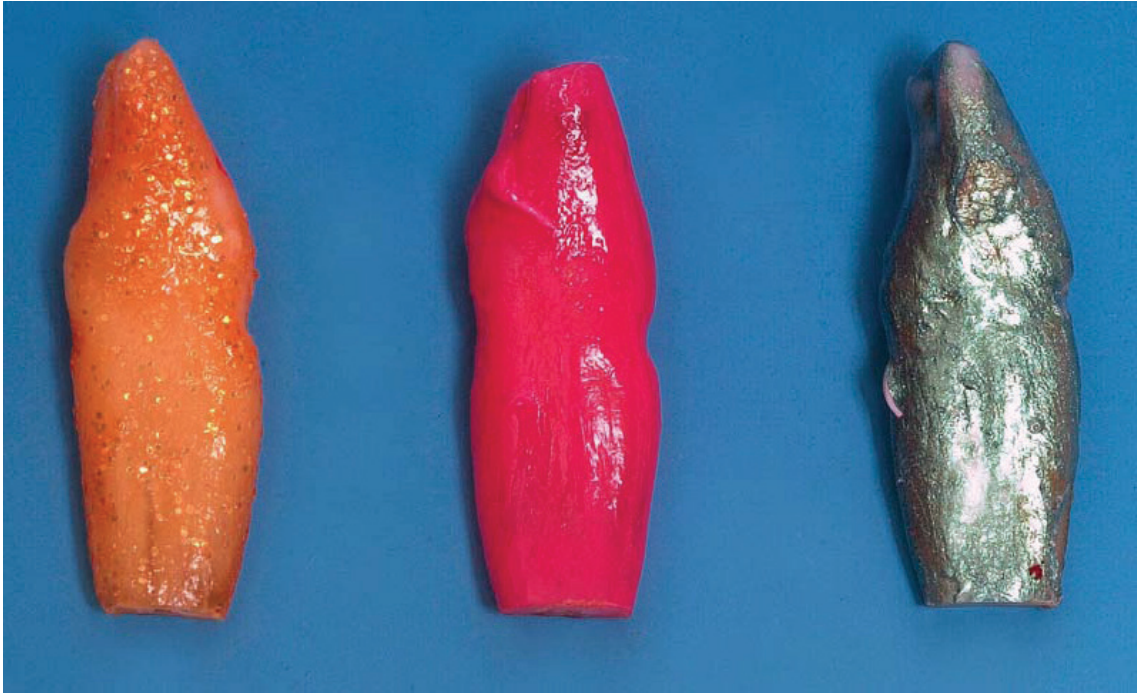


Abb. 5: Mit Nagellack versiegelte Probenzähne nach Abtrennen der Wurzelspitze bis zur Sichtbarkeit der Wurzelkanalfüllung

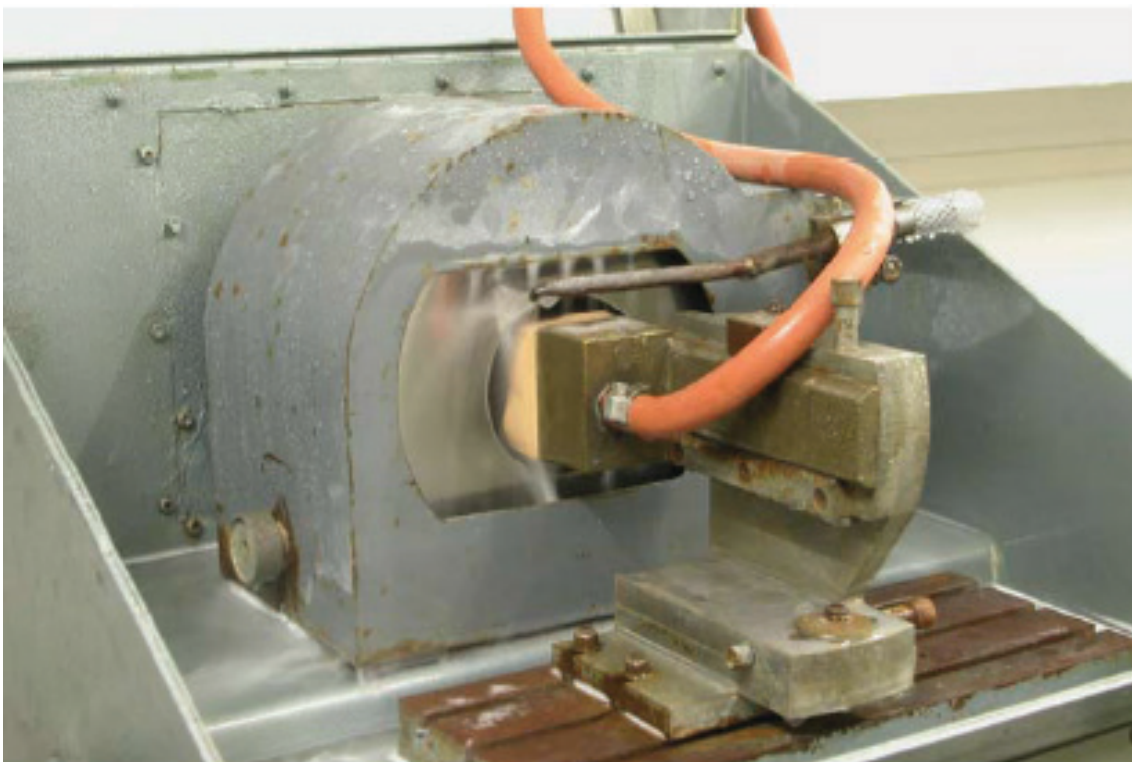


Abb. 6: Innenlochsäge mit eingesetztem Probenblock in Aktion

6.5 Bewertung

Die lineare Farbstoffpenetration von Methylenblau wurde unter Zuhilfenahme eines Auflichtmikroskops (Zeiss, Oberkochen, Deutschland) bei 30-facher Vergrößerung von drei Untersuchern bewertet. Den Untersuchern standen nur zwei Bewertungskriterien zu Verfügung. Entweder waren Farbstoffreste zu erkennen (+) oder man konnte keinen Farbstoff erkennen (-). Die beobachteten Ergebnisse wurden in einen Auswertungsbogen (Tabelle 10) eingetragen.

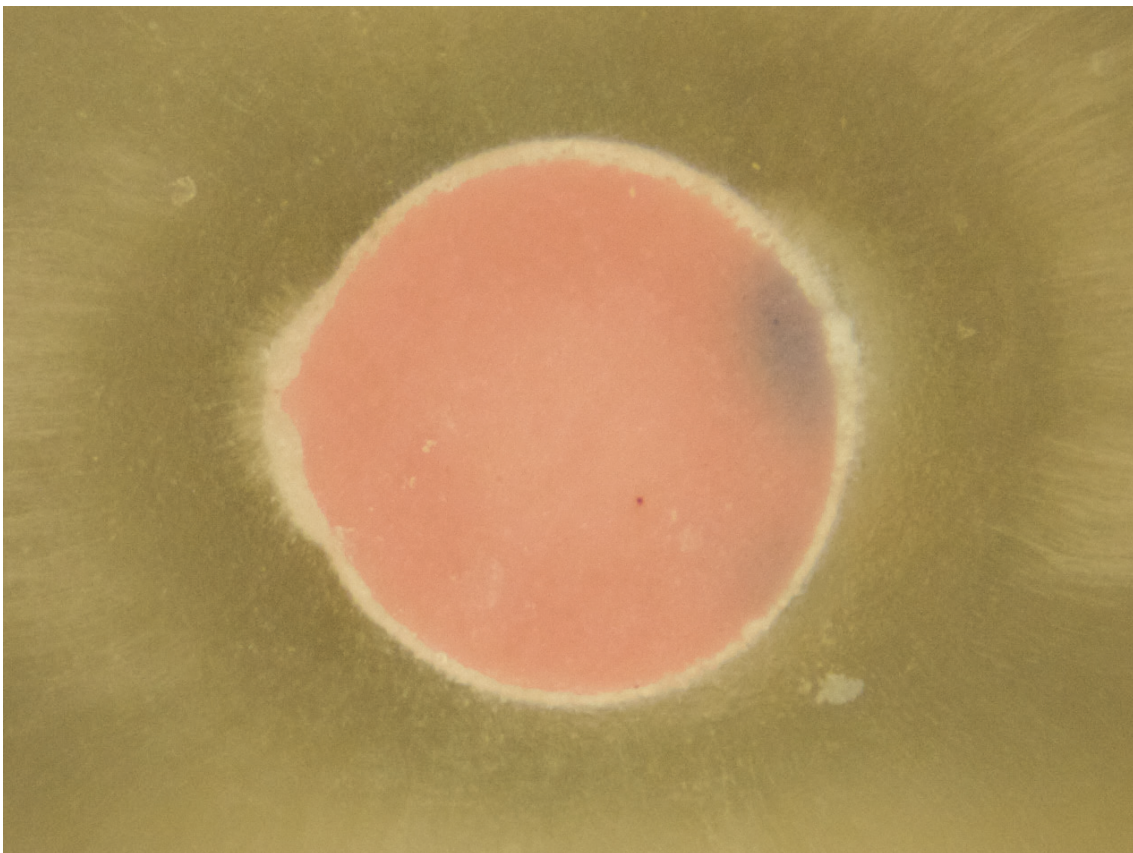


Abb. 7: Beispiel für sichtbare Farbstoffpenetration von Methylenblau

Abb. 8: Beispiel für nicht sichtbare Farbstoffpenetration von Methylenblau

Tab. 10: Auswertungsbogen für die lineare Penetrationstiefe

	Zahn 1	Zahn 2	Zahn 3	Zahn 4	Zahn 5	Zahn 6	Zahn 7	Zahn 8	Zahn 9	Zahn 10
Schnitt 1										
Schnitt 2										
Schnitt 3										
Schnitt 4										
Schnitt 5										
Schnitt 6										

„-“ = keine Farbstoffpenetration sichtbar
 „+“ = Farbstoffpenetration sichtbar

Gruppe: _____ **Untersucher:** _____

6.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit Hilfe des Statistikprogramms *SPSS win 14.0* vorgenommen.

Nach explorativen Datenanalyse, die sowohl der Beschreibung eines Datensatzes anhand einzelner Merkmale dient, als auch hilft, mögliche Fehler bei der Datenerfassung und Ausreißer im Datensatz zu entdecken, wurden die nachfolgenden statistische Tests zur Bewertung der linearen Penetrationstiefe herangezogen.

6.7 Shapiro-Wilk-Test

Der Shapiro-Wilk-Test ist ein Test auf Normverteilung innerhalb metrischer Daten. Er besitzt eine hohe Aussagekraft auch bei kleinem Stichprobenumfang und wird als Vor-test verwendet, um im weiteren Analyseverfahren entweder parametrische oder nicht-parametrische Tests zu verwenden. Es wird ermittelt, ob eine signifikante Abweichung von der Normverteilung vorliegt ($p \leq 0,05$)

6.8 Univariate Varianzanalyse (ANOVA) und Post-Hoc-Tests

Die parametrischen Tests, die univariate Varianzanalyse und die Post-Hoc-Tests, analysieren bei Vorliegen einer Normverteilung die Unterschiede von zwei oder mehr Gruppen. Die univariate Varianzanalyse beschreibt dabei lediglich, dass es einen Unterschied zwischen den zu untersuchenden Gruppen gibt, jedoch nicht zwischen welchen. Dafür werden im Anschluss die Post-Hoc-Tests benutzt, die paarweise Vergleiche innerhalb der Gruppen der ANOVA durchführen

6.9 Kruskal-Wallis-Test

Sollte keine Normverteilung vorliegen, kommen die nicht-parametrischen Tests zur Anwendung. Der Kruskal-Wallis-Test untersucht dabei, ob es Unterschiede zwischen

den einzelnen Gruppen gibt. Ein p-Wert kleiner oder gleich 0,05 beschreibt signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen.

6.10 Mann-Whitney-Test

Wie der Kruskal-Wallis-Test, ist der Mann-Whitney-Test ein nicht-parametrischer Test. Wenn bei der Analyse mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen auftreten, muss im Anschluss mit Hilfe des Mann-Whitney-Tests analysiert werden, zwischen welchen Gruppen diese Unterschiede liegen.

Als Signifikanzwert wurde $p < 0,05$ festgelegt.

7 Ergebnisse

Die Studie verfolgte den Zweck die Dichtigkeit drei klassischer Wurzelkanalsealer in Gegenwart von Resten unterschiedlicher Abschlusspülungen zu bewerten.

Die Dichtigkeit wurde mit Hilfe der linearen Penetrationstiefe von Methylenblau entlang der Wurzelkanalfüllung beurteilt. Anhand einer Ja-Nein-Entscheidung von drei Untersuchern wurde unter einem Auflichtmikroskop bei 30x Vergrößerung die Penetration in jeder Schichtebene von apikal nach koronal dokumentiert und statistisch ausgewertet. Dabei war aufgrund der Ja-Nein-Entscheidung immer eine Mehrheitsentscheidung möglich.

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Tabellen 11 und 12 zeigen die einzelnen mittleren linearen Penetrationstiefen, so wie die Standardabweichungen der verwendeten Sealer in Kombination mit den entsprechenden Spüllösungen, sowie die Statistikwerte für die Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test. Die Angaben erfolgen in Millimeter.

Tab. 11: Mittlere lineare Penetrationstiefe, Mittelwert, Standardabweichung, Median, Min, Max, Interquartil und p-Wert der Normverteilungsanalyse von *AH Plus*, *Apexit* und *Tubli-Seal*.

Kontamination	MW [mm]	SD [mm]	Median [mm]	Min [mm]	Max [mm]	IQ [mm]	p-Wert
Sealer: AH Plus							
EDTA	2,9	1,1	2,5	2,0	5,0	2,0	0,019*
CHX	6,0	3,3	6,0	2,0	10,0	7,3	0,062
Ascorbat	3,4	2,5	2,5	1,0	8,0	4,5	0,103
Aqua dest.	2,3	1,8	2,0	1,0	7,0	2,0	0,001*
ohne	1,4	0,7	1,0	1,0	3,0	1,0	<0,001*
Sealer: Apexit							
EDTA	2,6	1,7	2,0	1,0	7,0	1,5	0,005*
CHX	3,9	2,5	2,5	1,0	8,0	4,3	0,049*
Ascorbat	2,8	1,5	2,0	1,0	6,0	1,5	0,021*
Aqua dest.	1,7	1,1	1,0	1,0	4,0	1,3	0,002*
ohne	2,5	0,7	3,0	1,0	3,0	1,0	0,002*
Sealer: Tubli-Seal							
EDTA	4,5	2,3	5,0	1,0	8,0	4,3	0,543
CHX	9,1	2,0	10,0	4,0	10,0	0,8	<0,001*
Ascorbat	9,3	1,4	10,0	6,0	10,0	0,8	<0,001*
Aqua dest.	2,8	1,1	3,0	1,0	4,0	2,3	0,055
ohne	4,2	2,1	4,0	2,0	8,0	4,3	0,149

Die statistische Auswertung ergab signifikant bis hoch signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen hinsichtlich der Faktoren „Sealer“, „Kontamination“ und der Kombination „Sealer-Kontamination“ für die untersuchte Variable „Lineare Penetrationstiefe“.

Tab. 12: Ergebnis der nicht-parametrischen Analyse mittels Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Tests.

Sealer: AH Plus					
Kontamination	EDTA	CHX	Ascorbat	Aqua dest.	ohne
EDTA		0,039*	0,907	0,106	0,002*
CHX	0,039*		0,062	0,006*	<0,001*
Ascorbat	0,907	0,062		0,330	0,035*
Aqua dest.	0,106	0,006*	0,330		0,155
ohne	0,002*	<0,001*	0,035*	0,155	
Kruskal-Wallis-Test: p=0,001*					
Sealer: Apexit					
Kontamination	EDTA	CHX	Ascorbat	Aqua dest.	ohne
EDTA		0,266	0,598	0,129	0,447
CHX	0,266		0,404	0,021*	0,553
Ascorbat	0,598	0,404		0,048*	0,808
Aqua dest.	0,129	0,021*	0,048*		0,046*
ohne	0,447	0,553	0,808	0,046*	
Kruskal-Wallis-Test: p=0,109					
Sealer: Tubli-Seal					
Kontamination	EDTA	CHX	Ascorbat	Aqua dest.	ohne
EDTA		0,001*	<0,001*	0,108	0,789
CHX	0,001*		0,957	<0,001*	0,001*
Ascorbat	<0,001*	0,957		0,001*	0,001*
Aqua dest.	0,108	<0,001*	0,001*		0,163
ohne	0,789	0,001*	0,001*	0,163	
Kruskal-Wallis-Test: p=0,001*					

7.2 Lineare Penetrationstiefe – Vergleich der Sealer

Das Boxplot-Diagramm vergleicht die drei verwendeten Sealer auf der X-Achse mit Hilfe von fünf unterschiedlichen Farben und gibt auf der Y-Achse die lineare Penetrationstiefe in Millimetern an. So kann mit Hilfe des Boxplot-Diagramms sehr anschaulich und schnell die Penetrationstiefe von Methylenblau verglichen werden.

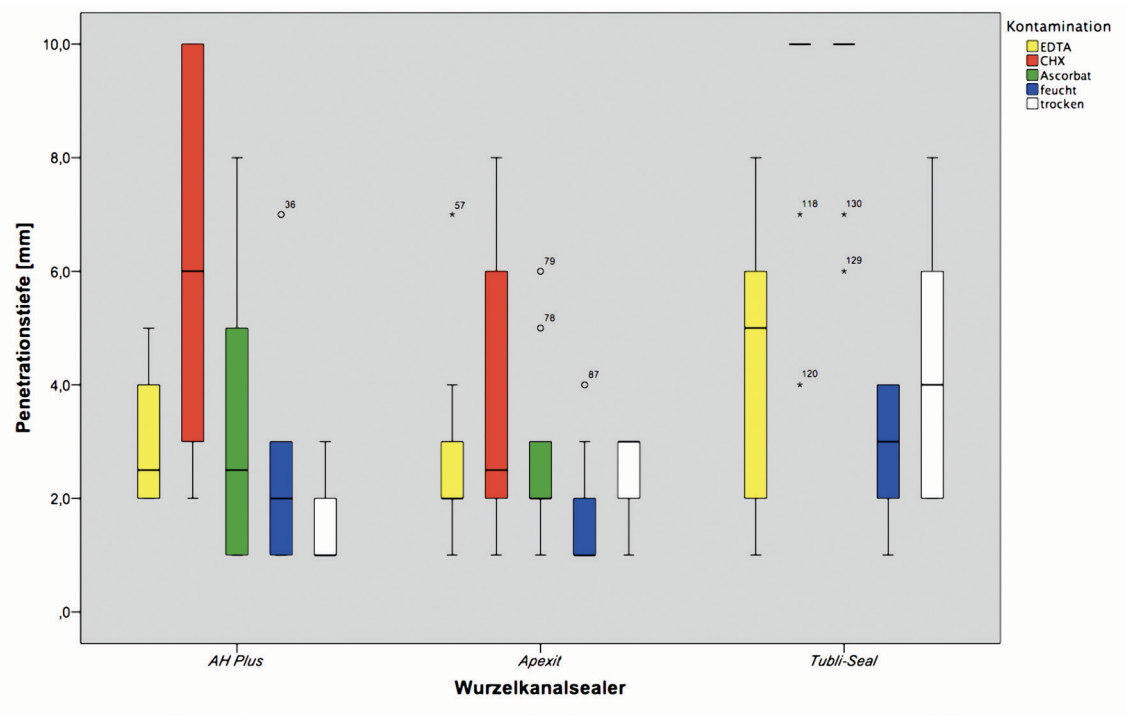


Abb. 9: Lineare Penetrationstiefen in den 3 experimentellen Gruppen nach Rekontamination mit den 4 verschiedenen Spüllösungen-Vergleich der Sealer.

Betrachtet man die Sealer, so stellt man fest, dass *Tubli-Seal* die schlechtesten Dichtigkeitswerte aller untersuchten Materialien aufwies. Es spielt dabei keine Rolle, welche der eingesetzten Spüllösungen als Abschlussspülung verwendet wurde. Die Ergebnis-

se innerhalb der *Tubli-Seal*-Gruppe waren hoch signifikant ($p < 0,001$). Innerhalb der *AH Plus*-Gruppe gab es signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Spülflüssigkeiten ($p < 0,001$)

Hier zeigten *AH Plus* und *Apexit* keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$). Beide Sealer unterschieden sich aber hoch signifikant von *Tubli-Seal*.

7.2.1 *AH Plus*

Der auf Kunstharz basierende Sealer *AH Plus* wies signifikante Unterschiede zwischen den zu untersuchenden Gruppen auf (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,001$). Zwischen der Kontamination mit EDTA oder Natriumascorbat (Mann-Whitney-Test: $p = 0,912$) und der Kontamination zwischen CHX und Natriumascorbat (Mann-Whitney-Test: $p = 0,063$) konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Jedoch gab es einen signifikanten Unterschied nach der Verwendung von CHX als Abschlussspülung im Vergleich zu EDTA (Mann-Whitney-Test: $p = 0,043$). Die lineare Penetrationstiefe nahm im Mittel deutlich zu

7.2.2 *Apexit*

Apexit, ein auf Calciumsalicylatbasis bestehender Sealer einer neueren Entwicklungsstufe, zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen kontaminierten Gruppen auf (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,109$). Gruppen übergreifend zeigte *Apexit* die besten Werte. Die beobachteten Mittelwerte waren die niedrigsten aller untersuchten Sealer.

7.2.3 *Tubli-Seal*

Tubli-Seal gehört zur Gruppe der Zinkoxid-Eugenol basierenden Wurzelkanalsealern. Der Hersteller *Kerr* empfiehlt einen trockenen Wurzelkanal, da *Tubli-Seal* am Kanal-

wanddentin klebt. Das eine gewisse Restfeuchtigkeit im Kanallumen aber nicht völlig zu vermeiden ist und diese einen negativen Einfluss auf *Tubli-Seal* hat, zeigten auch die Ergebnisse dieser Untersuchung. *Tubli-Seal* hatte die schlechtesten Dichtigkeitswerte aller getesteten Sealer. Es gab hoch signifikante Unterschiede innerhalb der untersuchten Gruppe (Kruskal-Wallis-Test: $p < 0,001$)

Vor allem nach Kontamination mit CHX und Ascorbat waren die Werte nicht ausreichend und signifikant schlechter im Vergleich zu den anderen untersuchten Sealern. Sowohl der Mann-Whitney-Test zwischen *Tubli-Seal* und *Apexit* ($p < 0,001$), als auch zwischen *Tubli-Seal* und *AH Plus* ($p = 0,035$) waren signifikant unterschiedlich.

7.2.4 EDTA

EDTA zeigte die geringsten Medianwerte (3,33 mm) in Bezug auf die lineare Penetrationstiefe. Bei allen drei Sealern konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,107$). Die besten Werte wurden mit *Apexit* als Sealer im Mittelwert (2,6 mm) erreicht.

7.2.5 CHX

CHX als Spüllösung hatte den größten negativen Einfluss auf die Dichtigkeit der verwendeten Sealer. Es gab signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,001$). Die lineare Penetrationstiefe war im Mittel bei CHX die schlechteste (6,33 mm). Sowohl *Apexit* (Mann-Whitney-Test: $p < 0,001$), als auch *AH Plus* (Mann-Whitney-Test: $p = 0,035$) waren signifikant unterschiedlich zu *Tubli-Seal*.

7.2.6 Natriumascorbat

Die Kontamination von *Tubli-Seal* mit Natriumascorbat zeigte im Mittel die schlechtesten Ergebnisse aller Sealer-Spüllösung-Kombinationen (9,3 mm). Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen nach Kontamination mit

Natriumascorbat (Kruskal-Wallis-Test: $p < 0,001$). Vor allem die Ergebnisse in Zusammenhang mit *Tubli-Seal* waren signifikant schlechter als mit *AH Plus* (Mann-Whitney-Test: $p < 0,001$) oder *Apexit* (Mann-Whitney-Test: $p < 0,001$).

7.2.7 Wasser

Statistisch betrachtet hatte die Kontamination mit Feuchtigkeit an sich nicht schlechtere Dichtigkeitswerte zur Folge. Der Mittelwert der linearen Penetrationstiefe war der Niedrigste aller in der Studie verwendeter Kontaminationen. Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen den untersuchten Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,100$) (siehe Tabelle 12).

7.2.8 Trocken

Die verwendete Kontrollgruppe zeigte zwischen den verwendeten Sealern signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,001$). Hier fiel besonders auf, dass der Sealer *AH Plus* im Vergleich zu den anderen in der Studie verwendeten Sealern seine besten Dichtigkeitswerte im Trockenen zeigte (siehe Tabelle 11).

8 Diskussion

8.1 Diskussion der Methodik

8.1.1 Standardisierung

Um die Ergebnisse der Studie aussagekräftig vergleichen zu können, musste darauf geachtet werden, einen nachvollziehbaren, annähernd gleichen, schematischen Versuchsaufbau zu gewährleisten.

Als erstes wurden einwurzelige Zähne mit geradem Kanalverlauf ausgewählt. Dies wurde radiologisch überprüft. Schneider klassifizierte bereits 1971 den Verlauf der Wurzelkanäle anhand der Krümmung [99]. Bei unterschiedlichen Kanalmorphologien hätte eine immer gleichbleibende Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung nicht gewährleistet werden können. So wurde nach der entsprechenden Auswahl der geeigneten Zähne immer darauf geachtet, auch im weiteren Versuchsprotokoll alle Arbeitsschritte gleich ablaufen zu lassen.

Eine identisch ablaufende Aufbereitungssequenz war dabei genauso entscheidend, wie ein identisches Spülprotokoll. Es musste darauf geachtet werden, dass immer die gleiche Menge an Spüllösung für die Kontamination der Wurzelkanäle verwendet wurde und auch die Dauer der Applikation durfte sich nicht unterscheiden, damit zu lange im Kanal verbleibende Spüllösungen sich nicht auf die Beschaffenheit der Dentinoberfläche und damit auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung auswirken konnten. Eine gleichbleibende Trocknungssequenz musste ebenso gewährleistet werden, damit bei der Auswertung der Ergebnisse davon ausgegangen werden konnte, dass in den zu untersuchenden Wurzelkanälen eine identische Menge an Restfeuchtigkeit vorhanden war. Schließlich war eine identische Obturationstechnik eine weitere Voraussetzung für einen standardisierten Versuchsaufbau, damit bei der Auswertung der Ergebnisse nicht unterschiedliche Obturationstechniken einen positiven oder negativen Einfluss auf die Dichtigkeit hatten.

Auch konnte gezeigt werden, dass die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung auch abhängig von der gewählten Obturationstechnik ist [128].

8.1.2 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Nach Trepanation der Zähne, wurden die Wurzelkanäle maschinell und vollrotierend mittels der Nickel-Titan Instrumente des *FlexMaster* Systems (VDW, München, Deutschland) bis zur Größe .04/#40 und abschließend mit *ProFile* (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) .04/#45 aufbereitet. Das modifizierte konvexe K-Feilen-Design von *FlexMaster* sorgt für einen effektiven Dentinabtrag und die abgerundete, flache Spitze soll eine Abweichung vom Kanalverlauf verhindern [113]. Durch die schematische Aufbereitung mit identischen ISO- und Taper- Größen, sowie gleichbleibenden Drehmomenten, konnten annähernd Kanäle mit gleichbleibendem Querschnitt erreicht und Kanalabweichungen vermieden werden.

Die maschinelle Aufbereitung hatte zudem den Vorteil, ein vergleichbares, kreisrundes Wurzelkanallumen zu gewährleisten und somit dafür zu sorgen, dass in allen Kanälen identisch präparierte Kanalabschnitte vorlagen, was bei einer Handinstrumentierung nicht zu gewährleisten gewesen wäre und somit die Ergebnisse zu sehr beeinflusst hätte [94].

8.1.3 Chemische Wurzelkanalaufbereitung

Die chemische Aufbereitung der Kanäle wurde durch die immer gleiche Wechsellösung mit Natriumhypochlorit (5%) und Zitronensäure (40%) vorgenommen.

Dabei wurde darauf geachtet immer die identische Menge an Spüllösung zu verwenden, damit nicht eine unterschiedliche Menge und Einwirkzeit der Spüllösung Einfluss auf den Abbindevorgang der Sealer und damit auf die Ergebnisse hatten [86].

Ziel der chemischen Wurzelkanalaufbereitung ist es sowohl organische und anorganische Auflagerungen zu lösen und zu entfernen [70], sowie desinfizierend zu wirken und somit annähernd Keimfreiheit zu erreichen [7]. Natriumhypochlorit wirkt dabei stark antimikrobiell und gewebsauflösend, was allerdings stark abhängig von der Konzentration ist [23]. Zitronensäure dient zur Entfernung der Schmierschicht, die bei vielen Sealern einen negativen Einfluss auf den Haftmechanismus mit dem Kanalwanddentin ausübt. Nur bei wenigen Sealern hat die Schmierschicht keinen negativen Einfluss, verhindert aber wahrscheinlich die Entfernung verbleibender Keime in den Dentintubuli [14,25].

8.1.4 Wurzelkanaltrocknung

Nach Rekontamination der Wurzelkanäle mit den Untergruppen definierenden Abschlussspülungen EDTA (15%), CHX (2%), Ascorbat (10%) und Wasser mussten die Kanäle gleichmäßig getrocknet werden um immer den gleichen Trocknungsgrad in den Kanälen vorliegen zu haben. Eine vollständige Kanaltrocknung, die auch in der praktischen Anwendung kaum umsetzbar ist, sollte verhindert werden.

Da *in vivo* Feuchtigkeit von apikal her nach fließen kann, sollten alle Kanäle nach der gleichen Trocknungssequenz mit nur zwei Papierspitzen behandelt und ein gleicher Feuchtigkeitfilm belassen werden. Entscheidend dabei war, die Papierspitzen bei allen Versuchszähnen identisch, für jeweils 3s und gleich tief in die Kanäle eingeführt wurden. Der Grad der Feuchtigkeit, die damit verbundenen Auswirkungen auf die Qualität der Wurzelfüllung und damit den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung, wurde bereits in einigen Studien untersucht. Roggendorf et al. (2006) zeigten in ihrer Studie, dass Feuchtigkeit bei *AH Plus* einen negativen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung hat [86]. Andere Studien zeigten dagegen gute Ergebnisse im trockenen Milieu [72]. In der Studie wurde daher als Kontrollgruppe ein nicht kontaminierter, trockener Kanal verwendet.

8.1.5 Wurzelkanalfüllung

Im Anschluss erfolgte die sofortige Abfüllung des Wurzelkanals in der Zentralstifttechnik. Mit Hilfe eines Lentulo und leicht pumpenden Bewegungen wurde der nach Herstellerangaben an gemischte Sealer in den Wurzelkanal eingebracht. Dies ist zwar nicht alleinig die effektivste Methode, den Sealer in den aufbereiteten Wurzelkanal einzubringen, aber auf Grund seiner maschinellen, gleichmäßigen Bewegungen, die reproduzierbarste. Andere Methoden zur Sealer-Applikation, wie eine benetzte Papierspitze, ein mit Sealer benetzter Masterpoint oder K-Räumer würden die Qualität der Wurzelkanalfüllung unterschiedlich beeinflussen [56].

Durch die Zentralstifttechnik wurde sichergestellt, dass ein annähernd gleichmäßiger Sealerfilm die Kanalwände benetzte. Auf Grund ihrer einfachen und wenigen Schritte ist diese Obturationstechnik nicht so techniksensitiv, denn eine hohe Behandlervariabilität würde von Haus aus große Unterschiede in der Qualität der Wurzelfüllung auftreten lassen [118].

Bei anderen Wurzelfüllmethoden, wie zum Beispiel der Lateralkondensation, konnte von keiner Standardisierung ausgegangen werden, da durch die laterale Kondensation nicht alle Kanalwände vergleichbar und reproduzierbar mit Sealer benetzt gewesen wären [123].

Auch die thermoplastische Wurzelkanalfüllung wäre für ein standardisiertes Verfahren ungünstig gewesen, da sowohl die erwärmte Guttapercha, wie auch die erhitzten Instrumente durch Verdunstung Einfluss auf die Restfeuchtigkeit gehabt hätten und somit die Ergebnisse dieser Studie fälschlich hätten beeinflussen können, denn Ziel dieser Studie war es, lediglich den Einfluss der verschiedenen Spülflüssigkeiten auf die zu untersuchenden Sealer zu beobachten [5]. Eine unterschiedlicher Trocknungsgrad oder eine unterschiedliche Sealer Menge hätten die unterschiedlichen Ergebnisse nicht auf die entsprechende Spüllosung zurückführen lassen [51,62].

8.1.6 Farbstoffpenetrationstest

Um die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen zu untersuchen, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Bei Farbstoffpenetrationstest kommen unterschiedliche Farbstoffe zur Anwendung. Erosion, Fuchsin und India Ink unterscheiden sich in den Dichtigkeitsergebnissen aber zum Teil erheblich, so dass innerhalb einer Studie nur ein Farbstoff verwendet werden sollte, um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können [107]. Der leicht und schnell durchzuführende Farbstoffpenetrationstest mit dem feinmolekularen Methylenblau, das ungefähr die gleiche molekulare Größe wie die Entzündungen verursachenden Endotoxine der Bakterien aufweist, erlaubt eine einfache Beurteilung der Penetrationstiefe, da Methylenblau besser als andere Farbstoffe in Hohlräume eindringt, und der Farbstoff gut sichtbar ist [62,86].

Eine einfache Ja-Nein-Entscheidung kann daher unter dem Auflichtmikroskop durchgeführt werden [2]. Da Methylenblau bei normalem Umgebungsdruck auf Grund von Lufteinschlüssen im Wurzelkanalsystem nicht ausreichend penetrieren kann [122], musste mit Hilfe von Zentrifugalkraft ein Überdruck geschaffen werden, mit dem der Farbstoff aktiv in sämtliche Spalträume vordringen konnte.

8.1.7 Auswertung

Damit die Dichtigkeit bewertet werden konnte, mussten die Zähne vorbereitet werden. Die in *Technovit* eingebetteten Probenzähne, wurden mit Hilfe der Querschnittstechnik im Abstand von 1 mm in gleichmäßige Scheiben gesägt. Der Nachteil der Querschnittstechnik ist ein gewisser Substanzverlust, der durch das Sägen mit einem entsprechend dicken Sägeblatt entsteht und es somit theoretisch vorkommen kann, dass eine Ja-Nein-Entscheidung entsprechend des Substanzverlustes zu früh oder zu spät erfolgt. Die so genannte Cross-Section-Analyse lässt im Vergleich zur Längsschnittstechnik damit eine Aussage über die Lokalisation des Farbstoffes innerhalb der Wurzelfüllung zu, wobei die Messung der Farbstoffpenetration linear oder volumetrisch erfolgen [114]. Die Penetration mit Methylenblau kann bei der Querschnittstechnik sowohl im Sealer, wie auch im Grenzbereich zwischen Sealer und Guttapercha gut beurteilt werden [114].

8.2 Diskussion der Ergebnisse

In der Studie sollte das Abdichtungsverhalten der Sealer *AH Plus*, *Apexit* und *Tubli-Seal* in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Abschlusspülungen *EDTA*, *CHX* und *Ascorbat* untersucht werden. Es sollte überprüft werden, ob, inwiefern und welche Spüllösungen die Dichtigkeit der untersuchten Sealer beeinflussten.

Aus den statistischen Werten der Studie lässt sich erkennen, dass Restfeuchtigkeit von *EDTA*, *CHX* und *Ascorbat* die untersuchten Sealer und ihre Abdichtungseffizienz unterschiedlich beeinflussten. Nicht jede Spüllösung hatte auf jeden Sealer den selben Effekt. *AH Plus* reagierte generell empfindlich auf Restfeuchtigkeit im Kanal, wohin gegen *Apexit* im getrockneten Wurzelkanal schlechtere Ergebnisse als im feuchten Kanal aufwies. Dies zeigt, dass nicht immer eine absolute Trocknung, die in der Praxis eh kaum durchführbar ist, für eine dichte Wurzelkanalfüllung erforderlich ist. Restfeuchtigkeit im Kanal kann also bei entsprechendem Sealer sehr wohl akzeptable Dichtigkeitsergebnisse erzielen und ist nicht pauschal abzulehnen. Dies zeigen auch verschiedene andere Studien [40,62,65,86].

Auf Grund der hohen Bandbreite der Penetrationstiefen ist ein zufälliges Ergebnis auszuschließen.

Die Abbindeigenschaften und Abdichtungsfähigkeit von *Tubli-Seal* waren im feuchten Milieu die schlechtesten aller untersuchten Sealer. Zwar zeigte sich auch hier, dass ein feuchter Kanal (Wasser) unter Umständen bessere Werte als ein völlig trockener Kanal aufweisen kann, jedoch waren im Vergleich zu den Sealern *AH Plus* und *Apexit* die Werte von *Tubli-Seal* in allen Konstellationen die schlechtesten. Vorherige Studien belegen, dass *Tubli-Seal* auch ohne Kontamination mit einer Spülflüssigkeit schlechtere Ergebnisse aufweist [68].

AH Plus zeigte im trockenen Wurzelkanal die besten Abdichtungsergebnisse. Nach Kontamination mit einer Spüllösung wurden die Ergebnisse schlechter. Dies belegen auch andere Studien über den Zusammenhang zwischen Feuchtigkeit im Kanal und der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung [51,86].

Bei Einsatz von *AH Plus* als Sealer, sollte dem Anwender geraten werden, den Kanal soweit wie möglich zu trocknen und eine Restkontamination im Wurzelkanal so gering wie möglich zu halten.

Anders zeigte sich diesbezüglich *Apexit*. Der Calciumsalicylat-basierte Sealer zeigte die besten Ergebnisse im feuchten Kanal, unabhängig von der verwendeten Spüllösung. Seine Ergebnisse waren im feuchten Kanal besser als im trockenen Wurzelkanal, ein Indiz, dass Flüssigkeit, in Abhängigkeit vom verwendeten Sealer, sogar von Vorteil sein kann. Bei *Apexit* sollte also eine Übertrocknung des Wurzelkanals sinnvollerweise vermieden werden und deshalb auf eine abschließende Spülung mit Ethanol verzichtet werden. Verschiedene Trocknungsgrade von mechanisch und chemisch aufbereiteten Wurzelkanälen sind *in vitro* bereits verschiedentlich untersucht worden [51,65,86].

Betrachtet man die Ergebnisse im Hinblick auf die verwendeten Spülflüssigkeiten, so konnte man feststellen, dass nicht jede Spülflüssigkeit, den gleichen Einfluss auf die verwendeten Sealer hatte. Die Inhaltsstoffe der verwendeten Spülflüssigkeiten scheinen also verschieden stark mit den experimentellen Sealern zu interagieren.

Besonders CHX hatte einen ausgesprochen negativen Einfluss auf alle verwendeten Sealer in diese Studie. Warum dies im Einzelfall so ist und welche Bedeutung eventuell auftretende chemische Wechselwirkungen zwischen CHX und den untersuchten Sealern haben, müssen zukünftige Untersuchungen noch zeigen.

8.3 Prüfung der Arbeitshypothesen

Arbeitshypothese 1:

Die untersuchten Wurzelkanalsealer zeigen signifikante Unterschiede hinsichtlich ihres Abdichtungsvermögens.

—→ Diese Hypothese wird **angenommen**.

Die statistischen Ergebnisse zeigen zwischen den verwendeten Sealern signifikante Unterschiede, wobei die Hypothese zu allgemein formuliert ist, da nicht alle Sealer über alle Gruppen hinweg signifikant unterschiedliche Ergebnisse aufwiesen.

Arbeitshypothese 2:

Die verschiedenen Abschlussspülungen zeigen signifikante Unterschiede hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die untersuchten Wurzelkanalsealer.

—→ Diese Hypothese wird **angenommen**.

Auch diese Hypothese wird auf Grund der statistischen Ergebnisse angenommen, weil es innerhalb der untersuchten Gruppen signifikante Unterschiede gab.

Jedoch ist auch diese Hypothese zu allgemein gehalten, da nicht prinzipiell Feuchtigkeit im Kanal für signifikante Unterschiede gesorgt hat.

8.4 Klinischer Ausblick

CHX beeinflusste alle verwendeten Sealer besonders negativ hinsichtlich ihrer Abdichtungseigenschaften und ist daher als Abschlussspülung im Zusammenhang mit den drei verwendeten Sealern abzulehnen.

Da CHX aber als Spüllösung vor allem bei Revisionen besonders gut gegen grampositive Keime wie Enterokokken und Fungi wirkt, die gegen Natriumhypochlorit unempfindlich sind, sollte bei diesen Behandlungen auf Chlorhexidindigluconat als Zusatzspülung nicht verzichtet werden, sondern das Spülprotokoll diesbezüglich angepasst werden [33]. Zukünftige Untersuchungen zum Einfluss von Spülprotokollen unter Verwendung von CHX auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen sind hier wünschenswert.

Die Hersteller von Wurzelkanalsealern sollten in ihren Datenblättern die Ergebnisse der vorliegenden Studie und anderer Studien berücksichtigen und Informationen zum optimalen Feuchtigkeitsgrad des Wurzelkanal Dentins ergänzen.

Diese Studie hat gezeigt, dass Wurzelkanalsealer wie *AH Plus* und *Tubli-Seal*, die sehr empfindlich auf Restfeuchtigkeit im Wurzelkanal reagieren können, dass aber auch Sealer wie *Apexit*, die höchsten Dichtigkeitswerte in Anwesenheit von Restfeuchtigkeit erzielen können.

In diesem Zusammenhang wäre es für den Anwender wichtig, die genauen Eigenschaften des verwendeten Sealers zu kennen und nicht routinemäßig den Kanal ausgiebig zu trocknen oder die Trocknungsprozedur nicht sorgfältig genug durchzuführen. Auch wäre für den Praktiker hilfreich, Informationen für eine ideale Trocknungsprozedur oder Rewetting zu erhalten, damit nicht aus Unwissenheit, das Abdichtungsverhalten der Wurzelkanalfüllpasten und somit möglicherweise in der Folge das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung negativ beeinflusst werden.

Literaturverzeichnis

1. AG Endodontologie Traumatologie der DGZ. Gemeinsame Stellungnahme der DGZ/DGZMK: Die Wurzelkanalspülung. Zahnärztliche Mitteilungen 2006;96:50-51.
2. Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM. A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. Int Endod J 1995;28:30-34.
3. Akisue E, Tomita VS, Gavini G, Poli de Figueiredo JA. Effect of the combination of sodium hypochlorite and chlorhexidine on dentinal permeability and scanning electron microscopy precipitate observation. J Endod 2010;36:847-850.
4. Alam MS, Bashar AK, Begumr JA, Kinoshita JI. A study on FlexMaster : a Ni-Ti rotary engine driven system for root canal preparation. Mymensingh Med J 2006;15:135-141.
5. Atmeh AR, AlShwaimi E. The Effect of Heating Time and Temperature on Epoxy Resin and Calcium Silicate-based Endodontic Sealers. J Endod 2017;43:2112-2118.
6. Averbach RE, Kleier DJ. Clinical update on root canal disinfection. Compend Contin Educ Dent 2006;27:286-289.
7. Averbach RE, Kleier DJ. Clinical update on root canal disinfection. Compend Contin Educ Dent 2006;27:284, 286-289.
8. Bargholz C, Hör D, Zirkel C. Praxisleitfaden Endodontie. München; Jena: Elsevier, Urban und Fischer, 2006.
9. Barthel CG, M; Schäfer, E; Flachsenberg, S; Petschelt, A; Neuber,T; Kockapan,C; Weiger, R; Hülsmann, M. Die Wurzelkanalspülung. Dtsch Zahnärztl Z. 2006;10/2006:
10. Basrani B, Ghanem A, Tjäderhane L. Physical and chemical properties of chlorhexidine and calcium hydroxide-containing medications. J Endod 2004;30:413-417.
11. Basrani BR, Manek S, Mathers D, Fillery E, Sodhi RN. Determination of 4-chloroaniline and its derivatives formed in the interaction of sodium hypochlorite and chlorhexidine by using gas chromatography. J Endod 2010;36:312-314.
12. Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD. A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement

- using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J Endod* 1984;10:525-531.
13. Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod* 1992;18:605-612.
 14. Behrend GD, Cutler CW, Gutmann JL. An in-vitro study of smear layer removal and microbial leakage along root-canal fillings. *Int Endod J* 1996;29:99-107.
 15. Bishop K, Dummer PM. A comparison of stainless steel Flexofiles and nickel-titanium NiTiFlex files during the shaping of simulated canals. *Int Endod J* 1997;30:25-34.
 16. Bürklein S, Benten S, Schäfer E. Shaping ability of different single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2012;
 17. Bürklein S, Hinschitza K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 2012;45:449-461.
 18. Bürklein S, Schäfer E. Apically extruded debris with reciprocating single-file and full-sequence rotary instrumentation systems. *J Endod* 2012;38:850-852.
 19. Buttler TK, Crawford JJ. The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod* 1982;8:59-66.
 20. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983;55:307-312.
 21. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod* 1983;9:475-479.
 22. Clarkson RM, Moule AJ. Sodium hypochlorite and its use as an endodontic irrigant. *Aust Dent J* 1998;43:250-256.
 23. Clarkson RM, Moule AJ, Podlich H, Kellaway R, Macfarlane R, Lewis D, Rowell J. Dissolution of porcine incisor pulps in sodium hypochlorite solutions of varying compositions and concentrations. *Aust Dent J* 2006;51:245-251.
 24. Clem WH. Endodontics: the adolescent patient. *Dent Clin North Am* 1969;13:482-493.
 25. Cobankara FK, Adanr N, Belli S. Evaluation of the influence of smear layer on the apical and coronal sealing ability of two sealers. *J Endod* 2004;30:406-409.

26. Cunningham WT, Joseph SW. Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980;50:569-571.
27. Dalton BC, Orstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* 1998;24:763-767.
28. de Deus G, Gurgel Filho ED, Ferreira CM, Coutinho Filho T. [Intratubular penetration of root canal sealers]. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16:332-336.
29. Di Fiore PM. A dozen ways to prevent nickel-titanium rotary instrument fracture. *J Am Dent Assoc* 2007;138:196-201; quiz 249.
30. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O. Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J* 2000;33:46-52.
31. Duarte MA, Demarchi AC, Giaxa MH, Kuga MC, Fraga SC, de Souza LC. Evaluation of pH and calcium ion release of three root canal sealers. *J Endod* 2000;26:389-390.
32. Economides N, Kokorikos I, Kolokouris I, Panagiotis B, Gogos C. Comparative study of apical sealing ability of a new resin-based root canal sealer. *J Endod* 2004;30:403-405.
33. Emilson CG. Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res* 1977;85:255-265.
34. Endodontology ESo. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J* 2006;39:921-930.
35. Erdemir A, Ari H, Gungunes H, Belli S. Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal dentin. *J Endod* 2004;30:113-116.
36. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. *J Endod* 2005;31:742-745.
37. Ferguson DB, Marley JT, Hartwell GR. The effect of chlorhexidine gluconate as an endodontic irrigant on the apical seal: long-term results. *J Endod* 2003;29:91-94.
38. Gambarini G, Testarelli L, De Luca M, Milana V, Plotino G, Grande NM, Rubini AG, Al Sudani D, Sannino G. The influence of three different instrumentation techniques on the incidence of postoperative pain after endodontic treatment. *Ann Stomatol (Roma)* 2013;4:152-155.

39. Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S. Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-fill, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;93:333-336.
40. Georgopoulou MK, Wu MK, Nikolaou A, Wesselink PR. Effect of thickness on the sealing ability of some root canal sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1995;80:338-344.
41. Gernhardt CR, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M. Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. *Int Endod J* 2004;37:272-280.
42. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME. Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer*. *Journal of Endodontics* 1991;17:15-20.
43. Geurtsen W. Biocompatibility of root canal filling materials. *Aust Endod J* 2001;27:12-21.
44. Giardino L, Pontieri F, Savoldi E, Tallarigo F. Aspergillus mycetoma of the maxillary sinus secondary to overfilling of a root canal. *J Endod* 2006;32:692-694.
45. Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM. Comparison of lateral condensation and thermomechanically compacted warm alpha-phase gutta-percha with a single cone for obturating curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2001;91:89-94.
46. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2001;34:424-428.
47. Goodman A, Schilder H, Aldrich W. The thermomechanical properties of gutta-percha. II. The history and molecular chemistry of gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1974;37:954-961.
48. Gorduysus M, Nagas E, Torun OY, Gorduysus O. A comparison of three rotary systems and hand instrumentation technique for the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal. *Aust Endod J* 2011;37:128-133.
49. Grossman LI. A brief history of endodontics. *J Endod* 1982;8:555-559.
50. Guigand M, Glez D, Sibayan E, Cathelineau G, Vulcain JM. Comparative study of two canal obturation techniques by image analysis and EDS microanalysis. *Br Dent J* 2005;198:707-711, discussion 695.
51. Horning TG, Kessler JR. A comparison of three different root canal sealers when used to obturate a moisture-contaminated root canal system. *J Endod* 1995;21:354-357.

52. Hosoya N, Nomura M, Yoshikubo A, Arai T, Nakamura J, Cox CF. Effect of canal drying methods on the apical seal. *J Endod* 2000;26:292-294.
53. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 2003;36:810-830.
54. Inan U, Aydin C, Tunca YM, Basak F. In vitro evaluation of matched-taper single-cone obturation with a fluid filtration method. *J Can Dent Assoc* 2009;75:123.
55. Jacobson HL, Xia T, Baumgartner JC, Marshall JG, Beeler WJ. Microbial leakage evaluation of the continuous wave of condensation. *J Endod* 2002;28:269-271.
56. Kahn FH, Rosenberg PA, Schertzer L, Korthals G, Nguyen PN. An in-vitro evaluation of sealer placement methods. *Int Endod J* 1997;30:181-186.
57. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO. An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *J Endod* 2003;29:658-661.
58. Kececi AD, Unal GC, Sen BH. Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *Int Endod J* 2005;38:381-388.
59. Khademi A, Yazdizadeh M, Feizianfard M. Determination of the minimum instrumentation size for penetration of irrigants to the apical third of root canal systems. *J Endod* 2006;32:417-420.
60. Klimm W. Endodontische Therapie. Endodontologie - Lehrbuch für Studium und Beruf 2011;227-387.
61. Kokkas AB, Boutsoukias A, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod* 2004;30:100-102.
62. Kontakiotis EG, Georgopoulou MK, Morfis AS. Dye penetration in dry and water-filled gaps along root fillings. *Int Endod J* 2001;34:133-136.
63. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukias A. Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endod Dent Traumatol* 1998;14:191-195.
64. Krause TA, Liewehr FR, Hahn CL. The antimicrobial effect of MTAD, sodium hypochlorite, doxycycline, and citric acid on *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 2007;33:28-30.
65. Kuhre AN, Kessler JR. Effect of moisture on the apical seal of laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 1993;19:277-280.

66. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod* 1998;24:472-476.
67. Lea CS, Apicella MJ, Mines P, Yancich PP, Parker MH. Comparison of the obturation density of cold lateral compaction versus warm vertical compaction using the continuous wave of condensation technique. *J Endod* 2005;31:37-39.
68. Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM. A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 1991;17:495-499.
69. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod* 1984;10:477-483.
70. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine--mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J* 2007;40:786-793.
71. Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem. *J Endod* 1997;23:43-48.
72. McMichen FRS, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K. A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *Int Endod J* 2003;36:629-635.
73. Morgan LF, Montgomery S. An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod* 1984;10:491-498.
74. Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaguet S, Pashley DH. Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod* 2001;27:753-757.
75. Mozayeni MA, Javaheri GH, Poorroosta P, Ashari MA, Javaheri HH. Effect of 17% EDTA and MTAD on intracanal smear layer removal: a scanning electron microscopic study. *Aust Endod J* 2009;35:13-17.
76. Myers GL, Montgomery S. A comparison of weights of debris extruded apically by conventional filing and Canal Master techniques. *J Endod* 1991;17:275-279.
77. Nakamura H, Asai K, Fujita H, Nakazato H, Nishimura Y, Furuse Y, Sahashi E. The solvent action of sodium hypochlorite on bovine tendon collagen, bovine pulp, and bovine gingiva. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985;60:322-326.
78. Orhan EO, Irmak O, Hur D, Yaman BC, Karabucak B. Does Para-chloroaniline Really Form after Mixing Sodium Hypochlorite and Chlorhexidine? *J Endod* 2016;42:455-459.

79. Pashley DH. Smear layer: physiological considerations. *Oper Dent Suppl* 1984;3:13-29.
80. Pecora JD, Cussioli AL, Guerisoli DM, Marchesan MA, Sousa-Neto MD, Brugnera Junior A. Evaluation of Er:YAG laser and EDTAC on dentin adhesion of six endodontic sealers. *Braz Dent J* 2001;12:27-30.
81. Pommel L, Jacquot B, Camps J. Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. *J Endod* 2001;27:347-350.
82. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1977;44:306-312.
83. Robberecht L, Colard T, Claisse-Crinquette A. Qualitative evaluation of two endodontic obturation techniques: tapered single-cone method versus warm vertical condensation and injection system: an in vitro study. *J Oral Sci* 2012;54:99-104.
84. Rödiger T, Attin T, Hülsmann M. Die Wurzelkanalsealer AH 26, AH Plus und RoekoSeal - Eine Literaturübersicht. *Endodontie* 14 2005;2:153-176.
85. Rödiger T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M. Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *Int Endod J* 2010;43:519-527.
86. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *Journal of Endodontics* 2007;33:31-33.
87. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D. The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J* 2002;35:859-866.
88. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D. Survival of *Enterococcus faecalis* in infected dentinal tubules after root canal filling with different root canal sealers in vitro. *Int Endod J* 2004;37:193-198.
89. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP, Ørstavik D. Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *J Endod* 2003;29:595-601.
90. Saunders WP, Saunders EM. The effect of smear layer upon the coronal leakage of gutta-percha fillings and a glass ionomer sealer. *Int Endod J* 1992;25:245-249.
91. Sbicego S. Wissenschaftliche Dokumentation Apexit® Plus. Wissenschaftlicher Dienst - Ivoclar Vivadent AG 2007;2-22.
92. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2006;39:196-202.

93. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T. Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2006;39:203-212.
94. Schäfer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2002;35:505-513.
95. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 2004;30:432-435.
96. Schäfer E, Zandbiglari T. Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 2003;36:660-669.
97. Schilder H. Filling root canals in three dimensions. 1967. *J Endod* 2006;32:281-290.
98. Schirrmeister JF, Strohl C, Altenburger MJ, Wrbas KT, Hellwig E. Shaping ability and safety of five different rotary nickel-titanium instruments compared with stainless steel hand instrumentation in simulated curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;101:807-813.
99. Schneider SW. A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971;32:271-275.
100. Sedgley C. Root canal irrigation--a historical perspective. *J Hist Dent* 2004;52:61-65.
101. Sen BH, Wesselink PR, Türkün M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 1995;28:141-148.
102. Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod* 2002;28:501-502.
103. Shemesh H, Bier CA, Wu MK, Tanomaru-Filho M, Wesselink PR. The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J* 2009;42:208-213.
104. Sleder FS, Ludlow MO, Bohacek JR. Long-term sealing ability of a calcium hydroxide sealer. *J Endod* 1991;17:541-543.
105. Smith CS, Setchell DJ, Harty FJ. Factors influencing the success of conventional root canal therapy--a five-year retrospective study. *Int Endod J* 1993;26:321-333.
106. Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB. Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod* 2006;32:785-788.

107. Tamse A, Katz A, Kablan F. Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 1998;31:333-337.
108. Thomas JE, Sem DS. An in vitro spectroscopic analysis to determine whether para-chloroaniline is produced from mixing sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Endod* 2010;36:315-317.
109. Thompson SA. An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J* 2000;33:297-310.
110. Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH. Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. *J Endod* 2001;27:351-353.
111. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002;94:658-666.
112. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 2006;39:472-476.
113. VDW Dental. VDW Dental - Flexmaster.
114. Veis A, Lambrianides T, Nicolaou A. Area-metric analysis of dye leakage for evaluation of sealing ability of root canal obturation techniques. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:222-226.
115. Vongphan N, Senawongse P, Somsiri W, Harnirattisai C. Effects of sodium ascorbate on microtensile bond strength of total-etching adhesive system to NaOCl treated dentine. *J Dent* 2005;33:689-695.
116. Weine FS, Kelly RF, Bray KE. Effect of preparation with endodontic handpieces on original canal shape. *J Endod* 1976;2:298-303.
117. Weine FS, Kelly RF, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod* 1975;1:255-262.
118. Wesselink PR. [The filling of the root canal system]. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 2005;112:471-477.
119. Weston CH, Ito S, Wadgaonkar B, Pashley DH. Effects of time and concentration of sodium ascorbate on reversal of NaOCl-induced reduction in bond strengths. *J Endod* 2007;33:879-881.
120. Wilcox LR, Wiemann AH. Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *J Endod* 1995;21:256-258.
121. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 1994;27:233-238.

122. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR. Leakage of four root canal sealers at different thickness. *Int Endod J* 1994;27:304-308.
123. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 2000;33:340-345.
124. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J. A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 1995;28:185-189.
125. Younis O, Hembree JH. Leakage of different root canal sealants. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1976;41:777-784.
126. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod* 2006;32:389-398.
127. Zehnder M. Root canal irrigants. *Journal of Endodontics* 2006;32:389-398.
128. Zhang HZ, Zhang C, He ZL, Wen QJ. [Comparison of the apical sealability of two canal obturation methods.]. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 2004;13:447-448.

9 Anhang

9.1 Materialliste

Artikel	Hersteller
Diamantschleifer	Meisinger GmbH, Düsseldorf, Deutschland
<i>FlexMaster</i>	VWD München, Deutschland
<i>ProFile</i>	Dentsply De Trey GMBH Konstanz, Deutschland
Roter Schnellläufer	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH Biberach, Deutschland
Ethanol-Lösung (70 %)	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
Natriumhypochlorit-Lösung (3 %)	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
Zitronensäure-Lösung (40 %)	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
EDTA-Lösung (15 %)	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
CHX-Lösung 2%	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
Natrium-Ascorbat-Lösung 10 %	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
Papierspitzen	Coltène-Whaledent Langenau, Deutschland
<i>AH Plus</i>	Dentsply De Trey GMBH Konstanz, Deutschland
<i>Apexit</i>	Ivoclar Vivadent Schaan, Liechtenstein
<i>Tubli-Seal</i>	SybronEndo Orange, CA, USA
Guttapercha-Stifte	Coltène-Whaledent

Lentulo-Spirale	Langenau, Deutschland
<i>Cavit</i>	Dentsply-Maillefer Ballaigues, Schweiz
<i>Technovit</i>	3M Espe Seefeld, Deutschland
Methylenblau 5 %	Heraeus Kulzer Hanau, Deutschland
Zentrifuge <i>Varifuge K</i>	Wissenschaftliches Labor der ZMK- Klinik Erlangen, Deutschland
Mikroskop <i>OPMI pico</i>	Heraeus Christ Osterode, Deutschland
Stereomikroskop Wild	Carl Zeiss Oberkochen, Deutschland
Innenlochsäge	Leica Geosystems AG Heerbrugg, Schweiz
Thermoschrank B80	Roditi International Corp. Hamburg, Deutschland
<i>SPSS win</i> ® 14.0	Memmert GmbH Schwabach, Deutschland
	SPSS Co. Chicago, IL, USA

Geschützte Eigennamen wurden im Text durch Kursivschrift gekennzeichnet.

9.2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Begriffserklärung
#	Größe
%	Prozent
≤	kleiner-gleich
≥	größer-gleich
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CHX	Chlorhexidindigluconat
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ISO	International Organization for Standardization
LPT	lineare Penetrationstiefe
Max	Maximum
Min	Minimum
mm	Millimeter
NaOCl	Natriumhypochlorit
s	Sekunde
Sig.	Signifikanz
Tab.	Tabelle

9.3 Übersicht der Tabellen

Tab. 1:	Ziele und Anforderungen an endodontische Spüllösungen	9
Tab. 2:	Eigenschaften von Natriumhypochlorit	10
Tab. 3:	Zusammensetzung endodontischer Guttapercha	13
Tab. 4:	Klassifikation von Wurzelkanalsealern	13
Tab. 5:	Obturationstechniken - gegliedert nach warmer oder kalter Applikation	16
Tab. 6:	Einteilung der Versuchsgruppen	22
Tab. 7:	Zusammensetzung von <i>AH Plus</i>	23
Tab. 8:	Zusammensetzung von <i>Apexit</i>	24
Tab. 9:	Zusammensetzung von <i>Tubli-Seal</i>	25
Tab. 10:	Auswertungsbogen für die lineare Penetrationstiefe	29
Tab. 11:	Mittlere lineare Penetrationstiefe, Mittelwert, Standardabweichung, Median, Min, Max, Interquartil und p-Wert der Normverteilungsanalyse von <i>AH Plus</i> , <i>Apexit</i> und <i>Tubli-Seal</i> .	33
Tab. 12:	Ergebnis der nicht-parametrischen Analyse mittels Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Tests	34

9.4 Übersicht der Abbildungen

Abb. 1:	Flowchart des Versuchsdesigns	20
Abb. 2:	<i>AH Plus</i> – Paste A (weiß), Paste B (violet)	23
Abb. 3:	<i>Apexit</i> – Base (grün), Activator (weiß)	24
Abb. 4:	<i>Tubli-Seal</i> – Base, Accelerator (grau)	25
Abb. 5:	Mit Nagellack versiegelte Probenzähne nach Abtrennen der Wurzelspitze bis zur Sichtbarkeit der Wurzelkanalfüllung	27
Abb. 6:	Innenlochsäge mit eingesetztem Probenblock in Aktion	27
Abb. 7:	Beispiel für sichtbare Farbstoffpenetration von Methylenblau	28
Abb. 8:	Beispiel für nicht sichtbare Farbstoffpenetration von Methylenblau	29
Abb. 9:	Lineare Penetrationstiefen in den 3 experimentellen Gruppen nach Rekontamination mit den 4 verschiedenen Spülflüssigkeiten-Vergleich der Sealer	35

10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten Frankenberger und Roggendorf in Marburg, sowie in Erlangen Ebert, Eitner, Hertrich, Hirschfelder, Kessler, Kremer, Lechner, Müller, Neukam, Oberschachtsiek, Pelka, Petschelt, Voß, Wichmann

11 Lebenslauf

12 Danksagung

Ich danke meiner Familie und besonders meiner Ehefrau Daniela, die mich immer unterstützt und angetrieben hat.

Ganz besonders danke ich meinem Betreuer und Doktorvater Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf. Ohne sein Verständnis für besondere Lebensumstände, seine Ausdauer, seine Ratschläge und sein Durchhaltevermögen, hätte ich diese Arbeit nicht fertig stellen können. Im Jahr 2000 habe ich mit dem Studium begonnen und konnte mich in der klinischen Phase der Ausbildung immer auf einen integren, hilfsbereiten und kollegialen Ausbilder verlassen.

13 Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

Microleakage – Untersuchung von Wurzelkanalfüllungen nach unterschiedlichen Abschluss-Spülungen - drei klassische Wurzelkanalsealer im Vergleich

in der Klinik für Zahnerhaltungskunde unter Leitung von Prof. Dr. Frankenberger mit Unterstützung durch Priv.-Doz. Dr. Matthias Roggendorf ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt. “

Düsseldorf, den 04.07.2018,